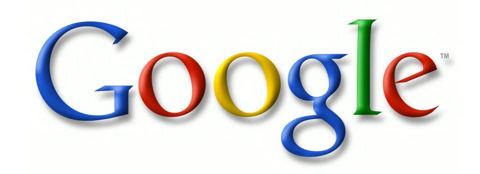
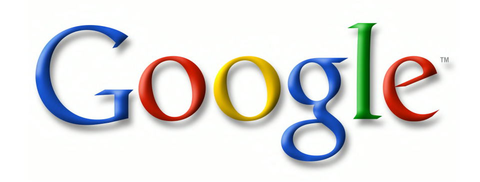
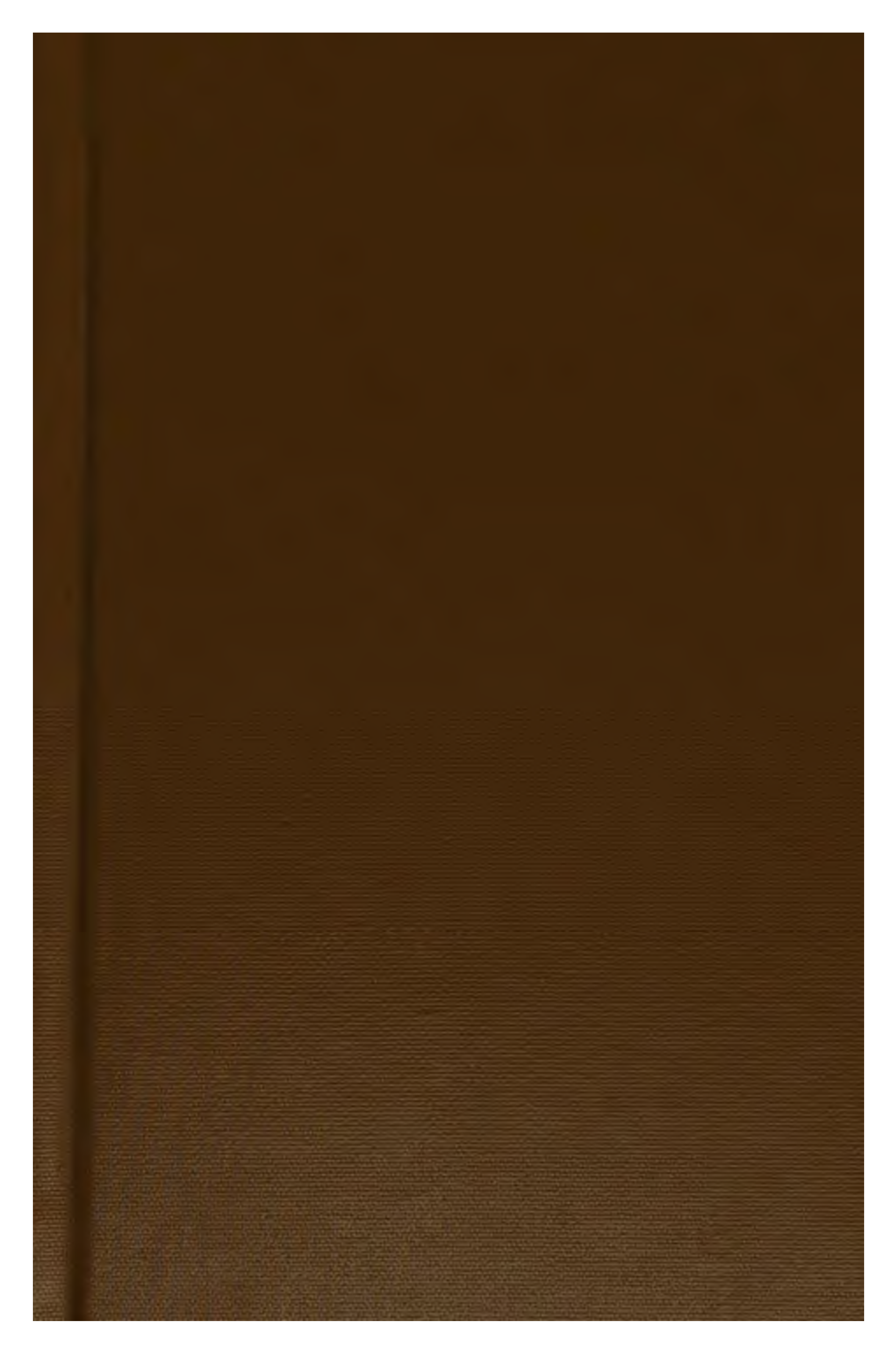








COURS
D'EXPLOITATION
DES MINES

8956. — PARIS, IMPRIMERIE A. LAHURE
9, Rue de Fleurus, 9.

COURS

D'EXPLOITATION

DES MINES

PAR

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE

Ingénieur en chef des mines
Professeur d'exploitation des mines et machines
à l'École supérieure des mines

TOME PREMIER

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

49, QUAI DES AUGUSTINS, 49

1883

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE — RECHERCHES DE MINES

CHAPITRE I. — Découverte des gîtes minéraux.

CHAPITRE II. — Recherche des parties riches des filons.

CHAPITRE III. — ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DES PARTIES RICHES.

CHAPITRE IV. — PASSAGE DES REJETS.

CHAPITRE V. — PROCÉDÉ DU SONDAGE.

CHAPITRE VI. — Applications du sondage.

DEUXIÈME PARTIE — ABATAGE

CHAPITRE VII. — Abatage a la main, a l'eau, au feu.

CHAPITRE VIII. — Tirage a la poudre.

TROISIÈME PARTIE — VOIES DE COMMUNICATION

CHAPITRE XI. — Muraillement et blindage.

CHAPITRE XII. — Percement des galeries de mine.

CHAPITRE XIII. — Percement des tunnels.

CHAPITRE XIV. — Fonçage des puits a niveau bas.

CHAPITRE XV. — Fonçage des puits a niveau plein.

QUATRIÈME PARTIE — MÉTHODES D'EXPLOITATION

CHAPITRE XVI. — Aménagement général.

CHAPITRE XVII. — Abandon de massifs.

CHAPITRE XXI. — MÉTHODES DE REMBLAYAGE. — GÎTES MINCES.

CHAPITRE XXII. — MÉTHODES DE REMBLAYAGE — GÎTES PUISSANTS.

CHAPITRE XXIII. — COMPARAISON DES MÉTHODES.

CHAPITRE XXIV. — EXPLOITATIONS A CIEL OUVERT.

CINQUIÈME PARTIE — ROULAGE

CHAPITRE XXV. — Transports sans chemin de fer.

CHAPITRE XXVI. — Chemins de fer de mines.

CHAPITRE XXVII. — Matériel roulant.

CHAPITRE XXVIII. — Plans inclinés automoteurs.

CHAPITRE XXIX. — Tractions mécaniques.

CHAPITRE XXX. — La force motrice dans les mines.

ABRÉVIATIONS

Les publications qui se trouvent citées le plus fréquemment dans cet ouvrage ont été désignées par les abréviations suivantes :

Annales, 2ᵉ, IV, 27. . . . . = *Annales des Mines*, seconde série, tome IV, page 27.

Bull. min., 2ᵉ, IV, 27 . . . . = *Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, seconde série, tome IV, page 27.

CRM, janvier 1878, 27 . . . . = *Compte-rendu mensuel des séances de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, janvier 1878, page 27.

Rev. univ. d. m. et u., 2ᵉ, IV, 27 . . . = *Revue universelle des mines et des usines*, *Cuyper*, seconde série, tome IV, page 27.

Bull. Soc. d'enc., 2ᵉ, IV, 27 . . . . . = *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, seconde série, tome IV, page 27.

Zeitschrift BHS, IV, 27. . . . . . . = *Zeitschrift für das Berg, Hütten und Salinenwesen im Preussischen Staate*, tome IV, page 27.

Transact. NEI, IV, 27. . . . . = *Transactions of the North of England Institute of mining and mechanical Engineers*, tome IV, page 27.

PA, Angl., 27. — *PA*, Allem., 27. — *PA*, Belg., 27. = Pernollet et Aguillon, *Rapport de mission fait à la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères*, Angleterre, *ou* Allemagne, *ou* Belgique, page 27.

Pièces annexées, etc., 2ᵉ *fasc.* p. 27 . . = Pièces annexées aux procès-verbaux des séances de la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions du grisou dans les houillères, second fascicule, page 27.

COURS
D'EXPLOITATION
DES MINES

PREMIÈRE PARTIE
RECHERCHES DE MINES

CHAPITRE I
DÉCOUVERTE DES GÎTES MINERAUX

—

§ 1

INTRODUCTION

1 — Peu de problèmes sont à la fois plus vastes et mieux liés dans toutes leurs parties que celui de l'exploitation souterraine. Le but que se propose le mineur consiste à pénétrer dans l'intérieur de la terre, pour en détacher les matières utiles et les rapporter à la surface. On y peut distinguer d'après cela deux ordres principaux de questions, les unes concernant l'attaque de la masse terrestre, et les autres, les transports de toute nature à effectuer dans son sein.

La description des moyens d'attaque comprend trois points de

vue successifs. Tout d'abord l'*abatage*, c'est-à-dire les ressources dont dispose l'ouvrier pour effectuer le dépècement du massif limité qui lui est proposé comme objet de ses efforts. En second lieu, la réunion de ces opérations partielles pour doter la mine de ses *organes* essentiels : puits, galeries, plans inclinés, etc., dans des conditions de durée suffisantes. Enfin, la coordination de l'ensemble des travaux, en vue de réaliser l'enlèvement le plus complet et le plus économique, le plus sûr et le plus rapide, de la masse minérale. C'est la *méthode d'exploitation*.

En ce qui concerne les transports, il y a lieu d'envisager séparément les matières solides, liquides ou gazeuses. Ces dernières donnent lieu au problème de l'*aérage*, et les secondes à celui de l'*épuisement*. Quant aux matériaux solides, tant ceux que l'on extrait de l'intérieur que ceux que l'on se trouve conduit à introduire du dehors, comme ils ne présentent plus la fluidité et la docilité des précédents, leur transport se trouve placé dans des conditions différentes, selon qu'il s'effectue suivant la verticale, ce qui constitue l'*extraction*, ou qu'il présente une composante horizontale : c'est alors le *roulage*.

Un certain nombre de théories moins étendues, telles que la descente des hommes, l'éclairage, les sauvetages, etc., formeront, avec le titre de *services divers*, un groupe à la suite des précédentes. Enfin, un dernier ordre d'idées, sous le titre de *préparation mécanique*, a pour but de suivre les minerais au delà de l'instant où ils ont été amenés au jour, en vue de les livrer au métallurgiste dans un état mieux approprié à ses opérations. Ajoutons que toute cette description de l'exploitation des mines sera précédée d'une sorte d'introduction concernant la *recherche des gîtes*.

D'après cela, l'ensemble de ce cours se divisera en dix parties distinctes qui prendront les titres suivants :

I — Recherches de mines.
II — Abatage.
III — Voies de communication.
IV — Méthodes d'exploitation.
V — Roulage.

VI — EXTRACTION.
VII — ÉPUISEMENT.
VIII — AÉRAGE.
IX — SERVICES DIVERS.
X — PRÉPARATION MÉCANIQUE.

§ 2

INDICATIONS GÉOLOGIQUES

2 — *Emplacement des gîtes.* — Il y a lieu, dans la recherche des gites minéraux, de distinguer deux circonstances fondamentales, suivant que la masse affleure au jour, ou qu'elle est entièrement dissimulée sous des morts-terrains. Dans ce dernier cas, il n'existe qu'une seule manière de révéler sa présence : c'est le sondage, opération importante et qui exige des développements étendus. Nous en ferons l'objet des chapitres IV et V, en nous attachant, pour le moment, de préférence, aux gîtes qui se trouvent en contact avec l'extérieur sur une certaine étendue appelée *affleurement*.

C'est naturellement cette partie qui attirera l'attention des explorateurs, soit qu'il s'agisse de recherches méthodiques conduites avec toutes les ressources de la science, ou, au contraire, d'une rencontre purement fortuite. On ne doit pas se dissimuler, en effet, que le hasard et le temps sont les deux facteurs les plus efficaces, en ce qui concerne la découverte des gîtes minéraux affleurant au jour. Il en est bien peu qui aient échappé jusqu'ici à cette double influence, et que l'on puisse trouver aujourd'hui vierges de vieux travaux témoignant du passage des anciens.

La recherche méthodique exige chez ceux qui s'y livrent des qualités personnelles de flair et de sagacité, une certaine expérience et l'instruction théorique. La science géologique, en effet, née autrefois des observations du mineur, lui apporte aujourd'hui, par réciprocité, le plus utile secours (¹). Je commencerai par entrer à cet égard dans quelques développements.

(¹) L'utilité des applications de la géologie à la description des gîtes minéraux utiles

Un premier principe fondamental consiste dans la constance de l'ordre de superposition des terrains qui constituent l'échelle classique de composition de l'écorce terrestre d'origine sédimentaire. On ne devra plus, par exemple, dans le fonçage d'un puits de recherches, espérer rencontrer la formation que l'on poursuit, si l'on parvient à des strates qui présentent, d'une manière indubitable, les caractères d'un terrain plus ancien et qui n'aurait pu être que subordonné aux couches cherchées, si elles avaient existé sur ce point. C'est ainsi, pour fixer les idées, qu'un sondage de recherche du terrain houiller devra être arrêté, si l'on atteint avec certitude le calcaire carbonifère ou le terrain devonien.

Toutefois, ce principe évident doit être tenu seulement pour un guide très précieux, mais non pour un axiome qui ne puisse souffrir aucune exception. Il peut, en effet, arriver qu'un fonçage rencontre d'abord le terrain le plus ancien, et, au delà, un autre plus récent. Cette circonstance peut même se présenter de deux manières différentes.

La première se produira dans les renversements de terrains

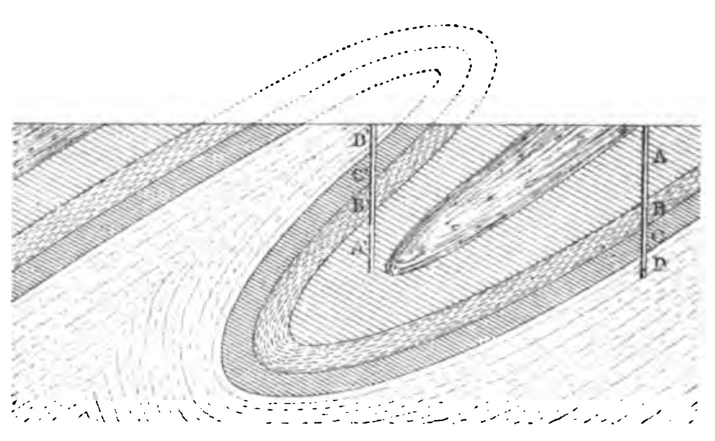


Fig. 1

(fig. 1). Ce phénomène, bien souvent constaté, peut être rapporté à

a déterminé la création, à l'École supérieure nationale des Mines, d'un cours spécial de *géologie technique* qui est professé avec la plus grande érudition par M. l'ingénieur en chef des mines Fuchs, et que j'ai souvent mis à contribution pour cet ordre de questions.

des plissements, tels que ceux qui ont été reproduits avec netteté dans les expériences de M. l'inspecteur général des mines Daubrée [1]. C'est ainsi, par exemple, que l'on trouve le granite au-dessus de la craie sur plus de quarante lieues de long en Saxe [2], et le terrain houiller surmonté du calcaire carbonifère en certains points du bassin franco-belge. Dans ces conditions, il est clair qu'un sondage exécuté dans la région normale indiquera la succession de couches A, B, C, D, tandis que celui que l'on forerait dans la partie renversée les présentera dans un ordre contraire D', C', B', A'.

Une seconde cause d'inversion (fig. 2) peut se trouver dans les rejets, dont nous parlerons plus loin (chap. III), et qui, en remontant, contrairement aux circonstances les plus ordinaires, le toit [3] d'une faille sur le mur, amènent sur une même verticale des superpositions interverties. Supposons, par exemple, qu'après le dépôt du terrain A, B, C, D, E, une faille φ l'ait affecté en remontant le toit dans la position A', B', C', D', E';

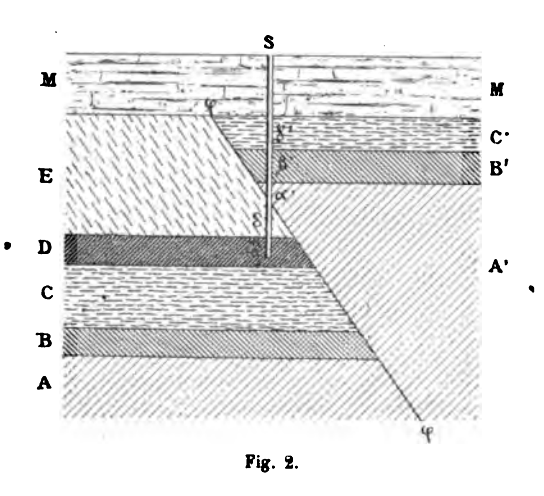


Fig. 2.

[1] Daubrée, *Études synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 294.

[2] Daubrée, *Études synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 342.

[3] A l'occasion de cette première apparition des expressions techniques en usage parmi les mineurs, il ne sera pas inutile de fixer immédiatement ce langage. Sauf les amas, de formes quelconques, qui ont rempli des cavités dues à des actions peu régulières, les gîtes minéraux, filons ou couches, se rapprochent en général de la forme plane. Leur masse se trouve comprise théoriquement entre deux plans parallèles, ou que l'on peut du moins considérer comme tels dans une étendue limitée. La distance de ces plans s'appelle la *puissance;* la roche sur laquelle repose le gîte est le *mur;* celle qui le surmonte constitue le *toit;* toutes les deux sont appelées les *épontes* de la masse minérale.

Pour définir la situation d'un plan dans l'espace, on envisage en premier lieu sa section par un plan horizontal. C'est ce qu'on appelle la ligne de direction, ou, plus sim-

qu'en second lieu, une vaste érosion vienne raser une partie de la couche E, de C′ et la totalité de D′, E′ qui surmontaient cette dernière; qu'enfin une nouvelle formation se dépose en M. Si l'on recherche la couche D par le sondage S, on pourrait être tenté, dès l'arrivée en γ', après la traversée des morts-terrains M, de se décourager par la rencontre du banc C′ qu'on sait être, d'après l'ordre connu de superposition, subordonné à la partie cherchée D′. Cependant, si l'on persiste, après avoir traversé encore B′ et A′ en β' et α', on retrouvera en ε un terrain E précurseur de la couche D que l'on atteindra enfin en δ.

On voit donc qu'il est nécessaire de se tenir en éveil, quant à la possibilité de semblables exceptions. En même temps, il est inutile d'ajouter qu'un praticien prudent ne les admettra jamais, pour justifier la continuation de ses opérations au delà d'un terrain trop ancien, que s'il a eu l'occasion de recueillir d'ailleurs un ensemble d'indices clairs et multipliés, de nature à lui faire supposer avec quelque probabilité de semblables états de choses.

3 — En même temps que la géologie a fixé avec précision, au moins dans leurs grandes lignes, l'âge relatif des terrains sédimentaires et leur correspondance dans les diverses contrées, elle a établi une coordination analogue pour les formations plutoniennes

plement, la ***direction*** du plan. Le même mot est également employé pour désigner la valeur de l'angle que fait cette orientation avec le nord. On l'évalue en degrés à partir du nord vrai, ou en ***heures*** de la boussole, qui valent chacune 15° et se comptent à partir du nord magnétique, dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

On distingue en second lieu la perpendiculaire élevée dans le plan lui-même sur son horizontale. C'est la ligne de plus grande pente, ou la ligne d'inclinaison, ou, plus simplement encore, l'***inclinaison*** du plan. Ce même terme sert également à désigner la valeur de l'angle que cette droite fait avec sa projection horizontale, et qui mesure l'angle dièdre du plan du gîte avec celui de l'horizon. On remplace également cette expression par celles de ***plongement*** ou de ***pendage***. Les deux moitiés d'un plan séparées par une ligne de direction en forment l'***amont-pendage*** et l'***aval-pendage***, suivant qu'elles se trouvent situées au-dessus ou au-dessous de cette horizontale. Disons enfin que, selon que le plongement rapproche sensiblement le plan de l'horizontale ou de la verticale, le gîte prend le nom de ***plateure*** ou ***partie plateuse***, ou bien au contraire de ***dressant*** ou ***partie raide***.

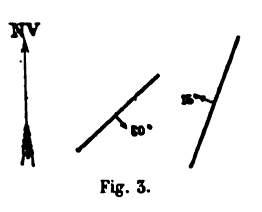


Fig. 3.

On représente un plan (fig. 3) par sa ligne de direction, une petite flèche, qui marque de quel côté a lieu le plongement, et la valeur numérique de cette inclinaison.

dont les unes sont relativement jeunes et les autres beaucoup plus anciennes. Cette succession a été précisée, non seulement pour les grandes masses éruptives qui constituent des parties étendues de la surface terrestre, mais aussi pour les substances qui, peu importantes par leur masse, présentent au contraire par leur nature un très grand intérêt pour l'industrie minérale. C'est ainsi, par exemple, que, sauf les plus rares exceptions [1], les venues d'étain n'ont pas dépassé les périodes granitique ou porphyrique; tandis qu'au contraire les gîtes de soufre de quelque étendue ne se rencontrent pas avant l'époque tertiaire. On se trouve d'après cela renseigné, dans une certaine mesure, sur la nature des gisements d'origine éruptive que l'on pourra espérer rencontrer dans une région déterminée, et, réciproquement, sur les types de terrains dans lesquels on peut raisonnablement rechercher des substances données.

Ce n'est pas d'ailleurs seulement des limites générales, soit antérieure soit postérieure, que l'on peut demander à la théorie pour guider des recherches déterminées. Parfois elle les circonscrit dans des horizons assez nettement caractérisés, souvent à la vérité avec une sorte de dualité. On sait, par exemple, que les grandes venues de cuivre se sont placées à l'époque permienne et surtout dans le terrain permien supérieur, avec une récurrence analogue à celle de l'étain, mais incomparablement plus marquée, dans l'éocène supérieur. Les filons de plomb se placent principalement dans l'ère triasique, et aussi à l'époque sidérolitique, contemporaine de la formation des Pyrénées. Le sel s'est concentré dans la formation permo-triasique, mais avec un retour important à l'époque tertiaire. Les pyrites de fer se placent principalement sur la transition entre le trias et le lias, avec une nouvelle arrivée à la base de la craie, etc.

4 — Enfin la géologie nous fait connaître encore des associations d'un caractère assez constant, qui ont pour résultat de préciser encore davantage le milieu spécial dans lequel des recherches

[1] Qui ont coïncidé avec la récurrence des pegmatites du début de l'époque tertiaire. (De Lapparent, *Traité de Géologie*, p. 1177.)

déterminées auront des chances de succès. C'est ainsi que le cuivre se trouve associé, avec une persistance marquée, à des roches magnésiennes, souvent d'origine boueuse. Le quartz est la gangue essentielle de l'étain ou de l'or. Le plomb s'accompagne plutôt de baryte et de chaux. L'argent a pour gangue caractéristique la calcite. Les minerais de fer et les phosphorites ont effectué leurs diverses apparitions avec une sorte de simultanéité dans l'échelle géologique. Le sel, le soufre, le bitume forment un cortège presque inséparable, et s'accompagnent mutuellement, en proportions plus ou moins marquées, dans leurs gisements respectifs, etc.

5 — L'emplacement géographique lui-même n'échappe pas à certaines lois dont on peut tirer parti dans les recherches. C'est ainsi que M. l'inspecteur général des mines de Chancourtois a signalé l'alignement, le long de certains grands cercles, de nombreuses formations de sel, de soufre, de pétrole. De même les filons métalliques se trouvent souvent concentrés dans le voisinage des rivages qu'occupait la mer à l'époque de leur apparition [1]. L'étain se rencontre toujours sur les bords de l'éruption granitique avec laquelle il est en relation. Des matières solubles ou délayables, comme l'azotate de soude ou le guano en gisements superficiels, ne peuvent être recherchées que dans les contrées privées de pluie, que circonscrivent les grands mouvements de l'atmosphère en relation avec certains reliefs du globe.

6 — *Prolongement des gîtes.* — Les théories géologiques viennent encore en aide aux explorations, non plus quand il s'agit de découvrir d'emblée la présence d'une substance donnée dans une certaine région, mais pour conclure avec une certaine probabilité, de la découverte d'un premier gisement, à la présence de gîtes similaires dans un certain rayon. Elles fournissent à cet égard deux principes généraux d'une grande utilité.

[1] Ce qui s'explique facilement en ce que les dislocations qui leur ont donné naissance se sont naturellement concentrées le long de la ride principale qui a déterminé l'approfondissement d'un côté et l'exhaussement de l'autre.

Le premier est celui du prolongement des gîtes dans leur propre plan. Distinguons à cet égard ce qui concerne les couches et les filons.

Pour ces derniers, on comprend facilement qu'une fracture de l'écorce terrestre, reconnue sur une faible étendue avec une grande netteté, a dû probablement se propager sur un prolongement plus ou moins considérable, et qu'une minéralisation identique aura au même moment rempli cette fente dans tout son développement. Il y a donc quelque chance pour que des filons de même nature existent dans l'alignement de la direction du premier. De là un motif d'étudier cette zone avec un soin tout particulier, en y recherchant des vestiges d'affleurements analogues.

S'il s'agit au contraire de dépôts sédimentaires, tels que les bassins houillers, il y a lieu de chercher de proche en proche la prolongation de formations reconnues dans une certaine contrée lorsqu'elles semblent disparaître sous des terrains de recouvrement. Il est arrivé souvent, en effet, que, la première masse éprouvant des mouvements de bascule autour de certaines charnières, des dépôts d'épaisseur croissante se soient effectués sur les parties submergées par cet affaissement angulaire. C'est ainsi, par exemple, que le bassin belge et celui de la Sarre, visibles à découvert dans une grande étendue, ont été poursuivis avec succès sous les morts-terrains qui en dissimulaient en France le prolongement; qu'une jonction souterraine a été recherchée entre les bassins de Blanzy et du Creuzot (Saône-et-Loire); qu'on soupçonne une semblable continuité du bassin franco-belge et de celui de Westphalie à travers le Limbourg, etc.

7 — *Parallélisme des gîtes.* — Un principe analogue est celui du parallélisme des gîtes. Nous distinguerons encore à cet égard ce qui concerne les filons et les couches.

Pour les premiers, on observe souvent qu'une fracture déterminée par les tensions de l'écorce terrestre s'est accompagnée d'éclatements parallèles, les directions des forces restant à peu près les mêmes dans une étendue limitée (fig. 4). Ces fractures, contemporaines les unes des autres, se sont minéralisées de la

même manière et ont donné naissance à un même groupe de filons.

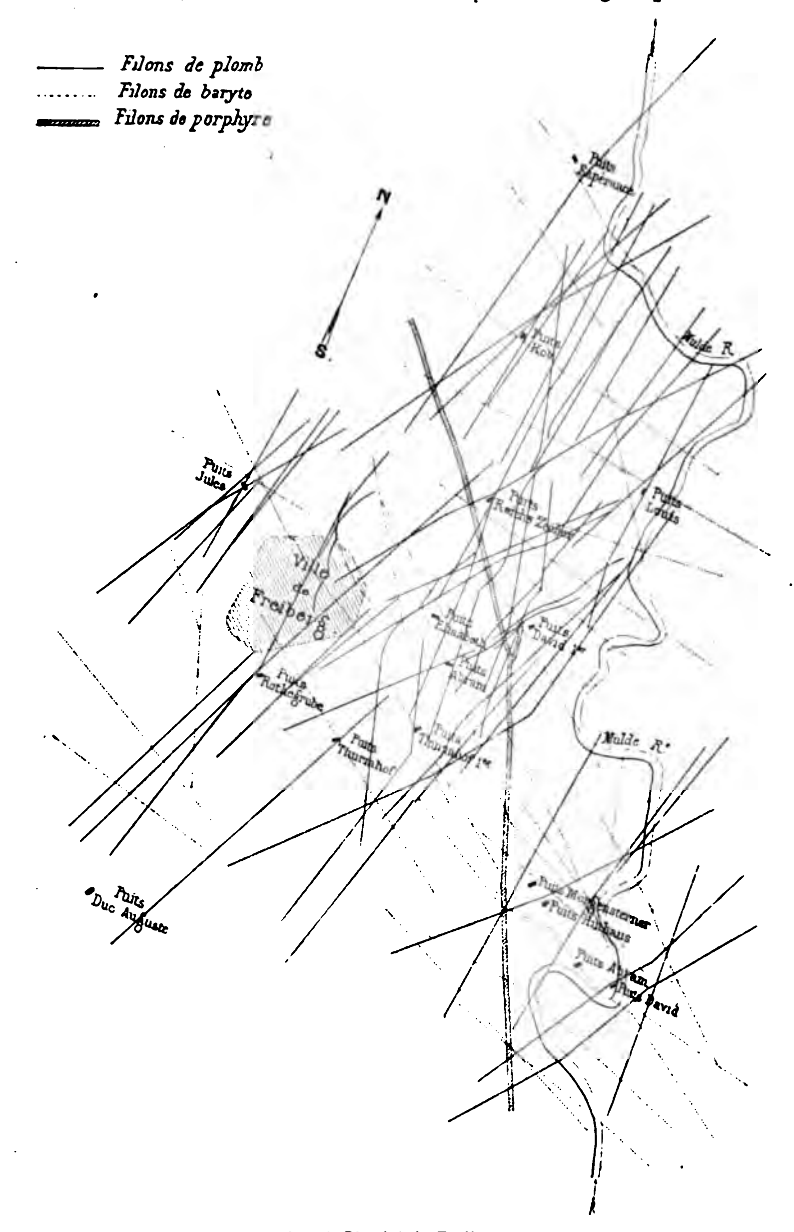


Fig. 1. District de Freiberg.

Il est donc permis en général d'espérer qu'une reconnaissance

dirigée normalement à la direction d'un filon bien caractérisé

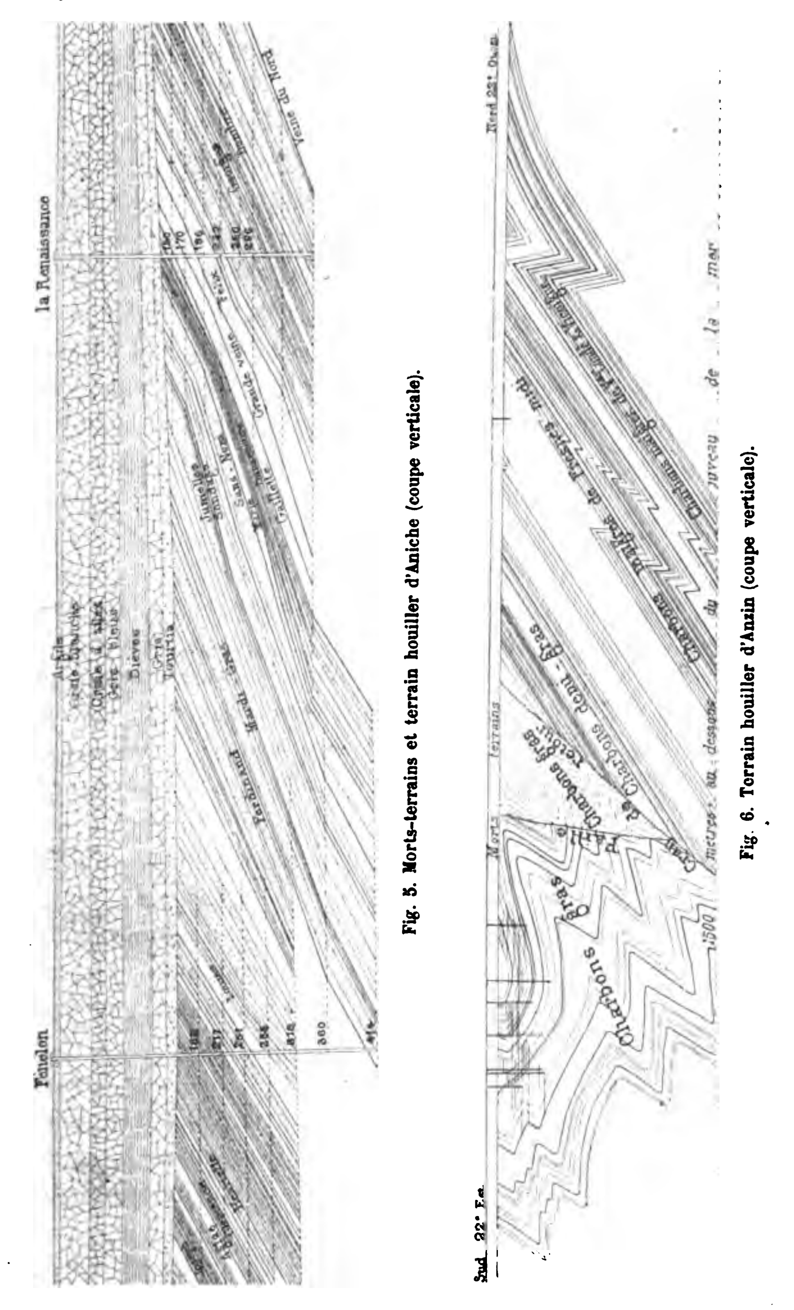


Fig. 5. Morts-terrains et terrain houiller d'Aniche (coupe verticale).

Fig. 6. Terrain houiller d'Anzin (coupe verticale).

pourra amener la découverte de gîtes semblables. Nous verrons du reste (N° 44) dans quelles conditions doit être dirigé cet ouvrage pour avoir le plus de chances de *couper riche* le nouveau filon, afin que le mineur ne soit pas exposé à le méconnaître en le traversant.

Quant aux formations sédimentaires, la probabilité est encore plus nette. Les dépôts charbonneux et les bancs stériles ont, en effet, ordinairement alterné bien des fois les uns avec les autres (fig. 5 et 6), avant que le bassin ne fût affecté par des redressements et des plissements définitifs. Il y a donc encore une certaine probabilité pour qu'une couche de combustible de quelque importance soit accompagnée de lits parallèles, qui auront participé aux mêmes soulèvements, en conservant une allure commune.

§ 3

INDICATIONS LOCALES

8 — *Indications archéologiques*. — Les renseignements précédents constituent des indications très utiles, mais d'un caractère trop général pour avancer dans chaque cas la question d'une manière décisive. Il nous reste donc à aborder ce qui concerne les investigations locales de détail. Nous distinguerons à cet égard trois sortes d'indices : les indications archéologiques, minéralogiques ou magnétiques.

Les premières consistent dans les traces de toute nature qu'auront pu laisser les vieux travaux effectués à une époque plus ou moins reculée et qui permettront, non pas à proprement parler de découvrir, mais de retrouver des gîtes minéraux.

Parfois l'étymologie suffit pour mettre en éveil, lorsqu'on rencontre des noms tels que la Minière, la Ferrière, la Calaminière, l'Argentière, l'Aurière, etc. Il conviendra cependant d'apporter à cet égard une grande circonspection, car cette similitude pourrait aussi être fortuite et sans valeur.

L'étude des vieux documents peut également rendre des services,

ainsi que celle des traditions qui se seront conservées dans la localité. Il est toutefois encore nécessaire de se tenir en garde contre les exagérations dont ces dernières sont presque toujours empreintes.

Des bouches de galeries éboulées et obstruées, des haldes de matières stériles imprégnées de mouches de minerai, indiquent d'une manière indubitable l'emplacement précis d'anciens travaux, ainsi que la nature des substances qui en faisaient l'objet. Ces dépôts sont même devenus dans certains cas la base d'exploitations fructueuses, en raison de la supériorité de la métallurgie actuelle sur les procédés de l'antiquité. C'est ainsi que les *ekvolades* du Laurium (Attique) ont été reprises dans ces derniers temps. Il en a été de même pour les haldes de Redrith (Cornouailles), en raison du tungstène que renferme le wolfram abandonné par les anciens mineurs.

Les haldes de scories sont également en relation nécessaire, quoique moins immédiate, avec des gisements dont elles révéleront approximativement la nature, sans préciser autant leur situation que dans le cas précédent.

9 — *Indications minéralogiques.* — La présence de fragments appartenant à des espèces minérales spéciales sera ordinairement la circonstance décisive qui mettra sur la voie d'une découverte. Ces indices peuvent être solides, liquides ou gazeux.

On rencontre souvent des fontaines de gaz hydrogène carboné en relation avec des gîtes de pétrole, de houille, parfois de sel gemme. Les districts de Bakou sur la mer Caspienne, du pays de l'huile en Pennsylvanie, de Ou-tong-kiao en Chine, en fournissent chacun de nombreux exemples.

Les sources salées indiquent le voisinage de formations de chlorure de sodium; des eaux ocreuses celui de gîtes de fer, la plupart du temps, du reste, sans valeur; des gouttelettes de mercure celui d'un gisement de cinabre. C'est ainsi que la présence d'un peu de mercure natif dans les eaux d'une fontaine a révélé en 1497 l'existence du gîte d'Idria (Carniole).

Mais les indications les plus ordinaires seront fournies par des

Le magnétomètre a cependant le défaut de ne fournir aucune indication sur l'importance probable des gîtes dont il annonce la présence, ce qui expose à des mécomptes. De plus il éprouve des variations importantes dans son intensité magnétique ; on doit d'après cela opérer assez vite pour ne pas risquer que les indications cessent d'être comparables entre elles.

12 — On peut également, au lieu d'une aiguille de déclinaison, employer la boussole d'inclinaison (1). Ce procédé a été appliqué en 1844 dans la région du lac Supérieur. La boussole était lestée de manière à se tenir horizontalement sous l'action de la terre seule, en s'inclinant par l'influence du gisement. On se guidait dans ces recherches en mesurant à la fois la déviation angulaire et le nombre d'oscillations par minute, pour juger de la force perturbatrice et, par suite, des probabilités concernant la distance et l'importance de la masse magnétique.

13 — On a proposé également pour les recherches de ce genre, sous le nom de *révélateur électrique Mac-Evoy* (2), une disposition simple et pratique de la balance d'induction de Hughes, dans laquelle le voisinage de masses métalliques a pour effet de modifier l'équilibre d'induction et de produire un son téléphonique. Cet appareil a déjà rendu des services précieux pour la découverte d'objets métalliques perdus en mer, de balles restées dans des blessures, etc. Mais, en ce qui concerne la recherche de filons métallifères, il est permis, sans méconnaître l'originalité de cette conception, de faire remarquer qu'un gisement formé d'oxydes, de carbonates, de sulfures, ne saurait être assimilé à un métal proprement dit, et que le cas de masses importantes de métaux natifs est absolument exceptionnel. Il y aura donc nécessairement beaucoup à rabattre, dans cet ordre d'applications, de l'utilité réalisée dans des conditions toutes différentes avec cet ingénieux appareil.

(1) Sauvage, *Annales*, 7e, VIII, 3 et 9. — *Bull. min.*, 2e, IV, 461.
(2) *CRM*, 1882, 148.

§ 4

TRAVAUX DE RECHERCHES

14 — *Travaux sur l'affleurement.* — La constatation de la présence du minerai en place sur un seul point suffit pour affirmer l'existence du gîte, mais non, à beaucoup près, celle de son exploitabilité. Une première étude est nécessaire pour que l'on puisse se croire autorisé à énoncer, à cet égard, au moins des probabilités. Pour obtenir ce premier aperçu, on aura la ressource à la fois des explorations sur l'affleurement et des travaux dans la profondeur. Distinguons ces deux ordres de recherches.

Il faut, avant tout, reconnaître autant que possible l'affleurement sur toute son étendue. Il en est qui s'accusent, même de loin, aux regards, quand on embrasse l'horizon d'un coup d'œil à partir d'un lieu élevé. Par exemple certains chapeaux de fer déterminent des zones rouges qui sillonnent la contrée; des dykes quartzeux ont été maintenus par leur dureté en saillie sur un terrain plus altérable par les agents atmosphériques; d'autres matières, inversement, moins consistantes que la roche encaissante, y dessinent des dépressions que l'on peut suivre de proche en proche.

Bien souvent, au contraire, la trace du gîte disparaît complètement aux regards. On peut recommander dans ce cas l'emploi d'un artifice indiqué par M. l'ingénieur en chef des mines Mallard. Il arrive parfois, en effet, que la formation sédimentaire, dont la couche utile fait partie, renferme quelque banc stérile, mais d'un aspect caractéristique et facilement reconnaissable sur le terrain. Sa distance au premier étant connue, il suffira de suivre dans la campagne cet affleurement auxiliaire, pour y rattacher ensuite la couche inconnue et en retrouver les vestiges.

En admettant *a priori* l'hypothèse de la forme rigoureusement plane de la veine, on a pu, dans certains cas, rapporter trois points bien déterminés de l'affleurement à des axes de coordonnées dirigés vers le nord, l'est et le zénith, et former l'équation de leur plan, pour en déduire sa direction et son inclinaison et rechercher son

intersection avec la surface topographique. Néanmoins, comme cette dernière ne saurait figurer dans le calcul par son équation, on trouvera beaucoup plus d'avantages à recourir à un procédé graphique, en employant la méthode des *plans cotés*, qui permettra de représenter très. convenablement la surface du sol au moyen d'un levé approximatif et de construire son intersection par le plan de la couche.

15 — Quelques fouilles superficielles seront ordinairement nécessaires pour achever de reconnaître avec certitude l'affleurement, soit qu'on les pousse de proche en proche en suivant son alignement, soit que l'on procède par tranchées transversales sur sa direction présumée, pour l'y rechercher de distance en distance.

Toutes les parties de l'affleurement ne mériteront pas du reste au même degré de fixer l'attention. Nous verrons dans l'étude de la répartition de la richesse dans les gîtes minéraux (chap. II) comment on devra apprécier, dans chaque cas, quelles sont les directions, les plongements, les roches encaissantes, qui auront le plus de chances de correspondre à des parties riches et bien caractérisées.

16 — *Travaux souterrains à flanc de coteau.* — Quant aux travaux de recherche souterrains, il est bien difficile d'en donner une formule générale, tant leur conduite sera étroitement liée aux circonstances particulières à chaque cas. Il nous faut tout au moins, pour cette explication, distinguer deux types généraux d'emplacements, suivant que la masse minérale se trouve située dans le flanc d'un coteau au-dessus d'une vallée, ou qu'elle plonge, au moins pour sa partie la plus importante, au-dessous des points inférieurs de la région.

Si le gisement se trouve dans le contrefort d'une vallée, on l'attaquera en galeries. Il conviendra de placer l'une d'elles aussi bas que possible, pour garder en amont-pendage la plus grande partie du gîte. On aura soin cependant de se mettre à coup sûr au-dessus des plus hautes eaux connues dans le pays, tant par la tradition que d'après les traces laissées par les crues. A partir de l'entrée,

la galerie ira en montant en pente très douce, pour faciliter la sortie des wagonnets chargés et assurer l'écoulement des eaux souterraines.

Ces ouvrages peuvent affecter deux situations distinctes. La première constitue la *galerie d'allongement* ou *de direction*, ainsi nommée parce qu'elle explore pas à pas le gîte suivant une ligne sensiblement horizontale, en épousant toutes ses inflexions afin de ne pas le perdre. Si la puissance est plus grande que la largeur de la galerie, on tiendra celle-ci de préférence au mur, qui restera plus stable, tandis que le toit risquera d'être ébranlé par les travaux ultérieurs. Ce dispositif offre l'avantage de faire connaître en détail le gîte, et de compenser dans quelques cas une partie des dépenses par un abatage rémunérateur, si l'on obtient un permis de vente [1]. Mais ce dernier point de vue doit être écarté comme absolument secondaire. En revanche, ce mode présente l'inconvénient des sinuosités qui peuvent gêner le roulage.

On peut, en second lieu, pratiquer des galeries *à travers bancs* qui, partant de points choisis le plus avantageusement possible, se dirigent en ligne droite à travers le terrain stérile, pour recouper la veine et reconnaître sa situation. Les renseignements fournis par une même longueur de percements sont alors moins complets; certains gîtes risqueraient même d'être méconnus au moment de leur traversée et ne comporteraient pas un tel mode. En revanche, on recueille certaines informations sur le terrain encaissant qui peuvent offrir de l'intérêt. On aura, en outre, la chance de découvrir des gîtes parallèles, s'il en existe.

En général, d'ailleurs, on combinera ces deux principes, en exécutant des galeries d'allongement et y branchant de temps à autre des traverses de reconnaissance, pour sonder à quelque distance les épontes du gîte. Si la recherche prend plus d'importance, on exécutera de semblables percements à diverses hauteurs, en les reliant intérieurement par des ouvrages inclinés, afin d'assurer l'aérage naturel en profitant des différences de niveau.

17 — *Travaux en profondeur.* — Supposons maintenant que

[1] Dupont, *Cours de législation des mines*, p. 34.

le gisement soit situé au-dessous de la vallée. Il peut d'abord arriver qu'il ne se trouve que là. D'autres fois il s'étendra à la fois au-dessus et au-dessous de ce point. Mais l'amont-pendage aura été attaqué et gaspillé par les anciens, qui s'arrêtaient souvent à ce niveau à cause des difficultés occasionnées par les eaux. En pareil cas il sera préférable, au lieu de perdre son temps à étudier longuement, et avec quelque danger, la partie qu'ils ont parcourue, d'attaquer résolument la profondeur qui constitue l'avenir et recèle le dernier mot de la question.

Un premier moyen consiste à exécuter une *fendue* ou *descenderie*, c'est-à-dire une galerie d'inclinaison, qui prend le nom de *puits incliné* quand le pendage devient absolument raide. C'est, en quelque sorte, l'équivalent du premier cas dans lequel on procédait au moyen de galeries d'allongement. Cet ouvrage suit, en effet, le gîte pas à pas, risque moins de le perdre, le fait mieux connaître, mais présente à un degré encore plus gênant l'inconvénient des sinuosités, plus fâcheuses pour l'extraction inclinée que pour le roulage horizontal. Il a également l'avantage de pouvoir fournir un produit rémunérateur. Mais ce point de vue doit encore moins influer ici que dans le premier cas et constituerait au contraire un faux calcul. En effet, outre qu'il est alors prématuré, l'on doit réfléchir qu'en se procurant ainsi d'une manière intempestive une certaine quantité de minerai, on condamne par cela seul à n'être prise qu'au bout d'un temps fort long, parfois même tout à fait indéfini, celle qui forme les parois de l'ouvrage, et qu'il est nécessaire de maintenir sur une épaisseur notable pour en assurer la conservation.

Un second moyen, que l'on emploiera souvent de préférence, consiste à foncer un puits vertical. Il représente pour le cas actuel ce qu'était le travers-bancs dans le précédent. Il place l'extraction et tous les services dans de bien meilleures conditions, au lieu de charger l'avenir de l'exploitation, de puits inclinés qui occasionnent les assujettissements les plus regrettables.

Je n'ai pas besoin d'ajouter que ces puits ou ces fendues servent de point de départ pour un système de galeries qui s'y brancheront pour explorer le gîte, comme dans les conditions précédentes où nous les faisions partir du jour.

18 — Ce qui établira toutefois une différence très tranchée entre les deux cas sera la nécessité, dans les circonstances actuelles, d'armer le puits, vertical ou incliné, de moyens mécaniques d'extraction et d'épuisement, et même d'aérage artificiel, puisque l'on n'a plus les facilités du premier cas qui permettaient de s'en passer.

En raison de l'inconnu qui plane sur la question, il sera bon de calculer largement le moteur, de manière à ce qu'il puisse encore suffire au besoin pendant une première période de l'exploitation proprement dite, pendant que l'on organisera pour la mine ses moyens d'action définitifs. Si les conditions locales fournissent des forces hydrauliques, le mieux sera de capter de suite la totalité de la puissance disponible, à moins qu'elle ne soit évidemment excessive.

19 — Dans la conduite de ces opérations, on devra se tenir en garde contre une tendance naturelle qui consisterait à passer trop tôt de la recherche à l'exploitation, et, au lieu d'un simple réseau d'exploration, à établir de véritables chantiers d'abatage. En premier lieu, la nécessité de la concession s'impose, et la loi française est formelle en ce qui concerne le passage des travaux de recherche aux travaux d'exploitation [1]. Mais, pour nous en tenir ici au seul point de vue technique, et attendu que l'exploitant sera ordinairement loin d'être complètement éclairé sur tous les points, au moment où il obtiendra l'acte de concession, il risquerait bien souvent de détériorer le gisement, en commençant à le dépecer avant d'en connaître le véritable point d'attaque. On pourrait préparer ainsi la fatigue du massif, l'altération du combustible, des réservoirs d'eau ou de gaz nuisibles et enfin l'incendie ; ou bien charger pour l'avenir l'extraction et le roulage, de dépenses supplémentaires qu'il eût été possible d'éviter. Enfin l'on ne doit s'engager à fond dans l'affaire qu'après s'être formé la conviction qu'elle est fructueuse, autant que le comporte cet ordre difficile d'appréciations.

[1] Articles 5 et 12 de la loi du 21 avril 1810.

§ 5

APPRÉCIATION DU GITE

20 — *Appréciation matérielle.* — Pour apprécier la valeur d'un gîte minéral, on devra, avant tout, le cuber, d'après tous les renseignements que l'on aura pu se procurer sur son étendue en direction, les probabilités de son extension en profondeur, les variations de sa puissance et de sa teneur. On obtiendra ainsi une évaluation approchée du total de la matière utile qu'il renferme. C'est la première donnée que l'on met toujours en avant pour caractériser l'importance d'une mine de houille. Il en est de même pour les substances métallifères, et surtout pour celles qui ont une valeur intrinsèque médiocre, ou tout au plus moyenne, et qui ont besoin d'être exploitées en grande masse pour soutenir la lutte avec succès sur le champ de bataille métallurgique. C'est ainsi, par exemple, que l'on verra progressivement les exploitations trop restreintes de pyrite ou de manganèse décliner devant les énormes masses que l'Espagne(1), le Caucase(2), pourront jeter sur le marché.

Quant aux gîtes de matières précieuses, le volume total leur constitue toujours, bien entendu, une valeur proportionnelle, mais il ne règle plus aussi étroitement le fait même de l'exploitabilité. Si le minerai prend une valeur exceptionnelle, comme pour l'or, l'argent natifs et les sulfures ou tellurures qui en sont imprégnés, on peut exploiter des puissances excessivement minces. Il arrive alors pour ce cas une circonstance spéciale. Comme il faut toujours donner aux chantiers une épaisseur minimum, indispensable pour le passage de l'homme et la manœuvre de ses outils, cette largeur devient alors, ainsi que les frais d'abatage, indépendante de la puissance. Il est donc nécessaire pour de tels filons de faire connaître, en même temps que le volume, leur surface utile. On doit par suite évaluer, autant que cela est possible, le nombre de mètres carrés de leurs parties minéralisées, en même temps que leur

(1) Pyrites de la province de Huelva.
(2) Pyrolusite de la vallée de Kvirila.

puissance réduite, c'est-à-dire l'épaisseur constante idéale par laquelle il faudrait multiplier cette surface pour obtenir le volume. De cette manière, on supprime par la pensée toutes les irrégularités du filon, en l'assimilant à une plaque uniforme, et l'on fait connaître le nombre de millimètres ou de centimètres qui en mesure l'importance. Je rappellerai, par exemple, qu'à Vialas (Lozère) la puissance moyenne n'atteint pas deux centimètres [1]. On y peut même encore exploiter économiquement avec un centimètre d'épaisseur réduite, en raison de la teneur de la galène en argent. Rien n'empêche de se représenter par la pensée des richesses plus grandes qui permettraient d'attaquer fructueusement des épaisseurs moindres encore; de même qu'inversement des galènes trop pauvres seraient inexploitables, même avec une puissance supérieure, toutes choses égales d'ailleurs.

21 — Indépendamment du chiffre brut du total de la matière utile, les circonstances de son emplacement exerceront une influence sérieuse sur les conditions de son exploitabilité. D'une manière générale on peut admettre qu'une couche étendue dans un sens à peu près horizontal, telle qu'un grand nombre de bancs houillers, certains minerais de fer épanchés sur le fond des mers à diverses époques géologiques, les schistes cuivreux du Mansfeld, etc., sera, à égalité de puissance et de richesse, plus avantageuse qu'un filon ou une couche très redressée. Dans le premier cas, en effet, la profondeur des travaux restera à peu près indépendante, en principe, de la quantité extraite; tandis qu'avec le second elle lui deviendra pour ainsi dire proportionnelle, une fois que l'on aura atteint les limites en direction.

L'avenir de cet approfondissement sera lui-même enveloppé de nuages, car les conditions de la formation y varieront beaucoup plus que dans le cas d'un épanchement horizontal. A cet égard, M. Fuchs signale certaines indications qui peuvent être utiles pour formuler au moins des probabilités sur la persistance du gîte en profondeur. Si, par exemple, des fissures, de remplissage bien homogène et identique, vont en convergeant vers le bas en

(1) Garnier, *Bull. min.*, 2e, V, 351.

éventail, on peut admettre qu'elles ont une racine commune, et même évaluer approximativement la distance à laquelle les différentes veines se rejoignent. Des fentes produites par arrachement sont ordinairement nettes et bien remplies dans la profondeur. Au contraire, les fissures dues au retrait d'une roche éruptive pendant sa solidification sont moins franches, souvent fermées par le bas à peu de distance et inégalement minéralisées. Nous insisterons plus loin (chap. II) sur leurs dispositions relatives, par rapport aux masses qui constituent l'écorce du globe.

22 — *Appréciation économique.* — L'appréciation géométrique doit se compléter par le point de vue économique. Celui-ci présente tout d'abord deux facteurs fondamentaux, à savoir : le *prix de revient* et le *prix de vente* probables, dont la différence donnera la mesure des bénéfices, si tous les éléments onéreux ont bien été pris en considération. A cet égard on devra calculer très largement et en faisant une grande part à l'imprévu et aux mécomptes.

En ce qui concerne d'abord le prix de revient, il faut en effet tenir compte de ce que la main-d'œuvre y figurera pour une part importante. Or son prix actuel dans la contrée aura tendance à hausser pour le travail pénible des mines, et par la concurrence de l'agriculture si le pays est riche. Si, au contraire, il est pauvre et peu peuplé, il sera nécessaire d'y appeler le personnel du dehors. On devra donc se renseigner sur le prix de la main-d'œuvre dans la région où l'on pourra opérer ce drainage de la population, en y ajoutant le supplément qui sera nécessaire pour décider l'ouvrier à se déplacer, les frais de construction des habitations qu'il faudra lui préparer, et des édifices : écoles, hôpitaux, églises, etc., qu'il y aura lieu d'y rattacher plus tard.

Un second chapitre de dépenses concerne les fournitures, dont les prix courants pourront être influencés par la création de la mine. Les bois de soutènement, par exemple, devront être recueillis dans un rayon assez étendu, et il faudra s'attendre à un renchérissement dû à ce dérangement de l'équilibre entre l'offre et la demande.

23 — En ce qui concerne, d'un autre côté, le prix de vente, le phénomène économique sera précisément inverse et tout tendra à l'abaisser. De grandes quantités de la matière extraite étant ainsi jetées sur le marché, doté de ce nouveau centre de production, un avilissement des cours en sera la conséquence et les prix fléchiront nécessairement. Pour étendre ses débouchés, l'exploitant devra grever sa production de certains frais de transport. Parfois même il lui faudra créer de toutes pièces des voies de communication : routes, chemins de fer, canaux. Ces frais s'accroîtront naturellement pour lui avec la distance, tandis que les producteurs que l'on refoule ainsi vers leurs propres centres verront par là diminuer les leurs, et seront d'autant mieux armés pour soutenir la lutte. Souvent même, au lieu de se contenter d'une attitude défensive, on les verra prendre l'offensive et chercher à éteindre dès le début une concurrence redoutable, en l'écrasant sous une baisse momentanée, qui, irrésistible pour une affaire naissante, sera plus facile à supporter pour celles qui ont déjà leurs situations acquises et leurs réserves accumulées. Dans tous les cas, le prix de vente verra son maximum réglé, indépendamment des frais d'exploitation, par les conditions du marché sur lequel les nouveaux produits auront la prétention de prendre place.

Ces considérations dépendront, du reste, de la nature de la mine. Les matières précieuses supportent mieux les frais de transport et la concurrence. Il n'y a même pas lieu d'en parler pour l'or et l'argent. Les minerais de cuivre, de plomb, d'étain, traversent parfois de très grandes distances pour aller chercher l'usine qui doit les fondre. Les trajets admissibles seront plus limités pour la houille. Enfin les matériaux ordinaires de construction ne sauraient en supporter de notables.

Il pourra arriver à la vérité, qu'on réussisse du même coup à supprimer en grande partie la chance de baisse du prix de vente et le chapitre des frais de transport, si l'on parvient à créer sur place une industrie de consommation directe des produits nouveaux. C'est ainsi que des anthracites de qualité médiocre et des calcaires de peu de valeur, associés pour la cuisson de la chaux, peuvent donner lieu à des exploitations fructueuses, là où chacun

des deux éléments, envisagé isolément, ne saurait faire naître une affaire prospère.

24 — S'il est difficile de se prononcer sur l'exploitabilité d'un gîte encore vierge, la question se complique encore lorsqu'il s'agit de reprendre une ancienne mine. De nouvelles inconnues s'ajoutent en effet aux précédentes. Il y a lieu de se demander quelle étendue du gîte les anciens auront déjà prise, et dans quelle mesure ils auront pu, en glanant dans les meilleures parties, compromettre le reste.

D'un côté, l'abandon des travaux est déjà par lui-même un mauvais symptôme. Il a pu, en effet, provenir simplement de l'appauvrissement du filon. Or, les conditions de l'exploitabilité ont été en s'aggravant encore sous certains rapports depuis cette époque reculée. La main-d'œuvre était autrefois moins chère qu'au moment actuel. Les premiers occupants, surtout dans un temps où les vues d'avenir étaient inconnues, auront dû prendre le meilleur et laisser les parties les plus malaisées et les moins riches. Leurs travaux discordants, dont l'emplacement reste inconnu, sont enfin de nature à rendre impossible, ou tout au moins plus difficile, l'enlèvement de ce qui reste.

En revanche, le système des voies de communication est incomparablement plus satisfaisant à notre époque. La puissance des capitaux et de l'association a créé des ressources autrefois inconnues. Les agents explosifs, la machine à vapeur, l'emploi de l'air comprimé ont transformé la puissance de l'ingénieur. C'est surtout en ce qui concerne l'épuisement, que la question a changé de face. Ce n'est qu'un jeu aujourd'hui de contre-battre des venues d'eau, irrésistibles pour les anciens mineurs. Ce sera là souvent la chance la plus favorable pour la reprise d'une mine, quand le niveau inférieur des anciennes tailles montrera qu'elles ont dû s'arrêter devant ce genre d'obstacles.

En outre, bien des contrées ont vu, à diverses époques, l'industrie minérale s'éclipser complètement par des causes générales, telles que la guerre, la famine, la peste, sans que cette circonstance implique aucune présomption fâcheuse contre la richesse de

chaque gîte en particulier. On peut dire également que la mauvaise renommée créée pour tel d'entre eux par des reprises réitérées, toujours suivies d'échecs, ne devra pas arrêter absolument une nouvelle tentative, avant d'être passée au crible d'une critique attentive. On a vu, en effet, l'esprit d'aventure, ou même d'intrigue, l'absence d'économie et la rémunération d'états-majors exagérés, l'impatience d'obtenir des résultats pécuniaires dans un genre d'industrie qui exige l'intervention du temps et des créations onéreuses, compromettre des affaires dont une direction animée d'un autre esprit aurait pu tirer bon parti.

CHAPITRE II

RECHERCHE DES PARTIES RICHES DES FILONS

—

§ 1

MODE DE PRODUCTION DES FILONS

25 — *Systèmes de fractures.* — L'esprit de recherches ne s'arrête pas avec la mise en train de l'exploitation proprement dite, une fois le gîte découvert, son exploitabilité fixée, et la concession obtenue. Il est en effet indispensable d'assurer le constant développement des travaux, tant pour donner à l'affaire une importance toujours croissante que pour remplacer successivement les parties qui s'épuisent. Il est également nécessaire, particulièrement dans les mines métalliques, de pouvoir apprécier avec une suffisante précision les variations de richesse du gîte, de manière à en mieux connaître la valeur actuelle, l'avenir probable, et à savoir où porter les chantiers, suivant le degré d'activité ou de ralentissement des transactions commerciales.

Les recherches souterraines sont en outre nécessaires dans un cas qui se présente fréquemment, celui d'un *dérangement* du gîte qui s'interrompt subitement et dont il s'agit de retrouver le prolongement, sans le secours de la continuité qui avait guidé jusque-là de proche en proche. Une pareille disposition porte le nom d'*accident*, *rejet*, ou *cran*.

La connaissance des lois qui président à la répartition de la richesse dans les filons, et aux accidents qui les interrompent, est donc d'une importance de premier ordre pour diriger les travaux

de recherche souterrains. Nous consacrerons à ces deux ordres de questions ce chapitre et le suivant.

26 — Il est pour cela nécessaire de rappeler succinctement le mécanisme fondamental des mouvements et des ruptures de l'écorce terrestre. Reportons-nous par la pensée à l'époque où la masse liquide du globe, après s'être figée à la surface, a continué à se refroidir, en se rétractant sur elle-même au-dessous de cette première croûte solide. Celle-ci devra évidemment suivre le noyau fluide pour continuer à reposer sur lui. Mais la nouvelle sphère étant d'une superficie moindre que la première, la pellicule superficielle, géométriquement trop grande, devra pour cela se plisser suivant certaines zones. Bien que l'ensemble du phénomène ne puisse être dans ces conditions qu'un affaissement, on comprend cependant que dans ces contournements, certaines parties pourront se trouver relevées par les réactions mutuelles au-dessus de leur niveau primitif. Mais, en dehors même de cette considération, comme les cotes absolues de distance au centre nous sont indifférentes, nous pouvons nous borner à l'appréciation des *mouvements relatifs* des parties. Pour cela, nous attribuerons par la pensée l'immobilité à la portion qui constitue la majeure partie de la sphère à une distance notable de la ride produite, en considérant comme soulevés au-dessus d'elle les éléments qui y font finalement saillie. Certaines parties molles ou élastiques pourront se prêter sans disjonction à l'effet de la poussée du fluide intérieur et des réactions mutuelles de l'écorce; mais des couches déjà dures et cassantes ne sauraient obéir à ces flexions [1] sans éprouver certains éclatements. Examinons de plus près ce phénomène.

27 — Supposons, pour fixer les idées [2], que le granite G (fig. 8) tende à soulever le terrain sédimentaire T, T_1, T_2... Il se produira une sorte de dôme ayant son sommet en S, pendant que les strates se relèveront suivant une courbe qui aura son pied en P

[1] Et surtout aux torsions qui, appliquées par M. Daubrée à des plaques de verre, lui ont fourni des types analogues aux systèmes de rupture naturelle du terrain. (*Études de Géologie synthétique*, pl. I, p. 311.)

[2] Moissenet, *Parties riches des filons*, 1874, p. 39.

et présentera une inflexion en un point intermédiaire I. Si les couches ne sont qu'imparfaitement adhérentes les unes aux autres, elles tendront à glisser par leur poids vers le pied de ce talus. Il se produira pour cela des cassures f, f_1, f_2 ... plongeant du même côté que la masse du terrain, c'est-à-dire *synclinales* ou *conformes*, avec glissement pour chacune d'elles du toit sur le mur. De cette manière la courbe s'abaissera de P en P′ par une suite de rejets

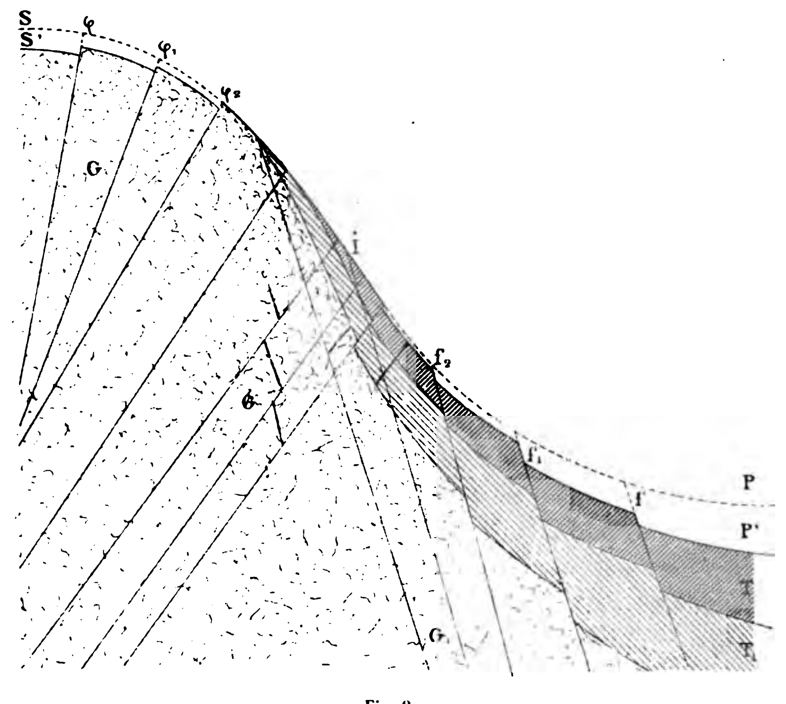


Fig. 8.

en escalier. En même temps, le gonflement du plan horizontal suivant la convexité du soulèvement ne saurait s'effectuer sans des éclatements rayonnants. Ceux-ci plongeront par suite en sens contraire du pendage, comme l'indiquent les lignes φ, φ_1, φ_2... *anticlinales* ou *inverses*. Ces ouvertures pourront rester entrebâillées, mais, pour chacune d'elles, le toit aura en ce moment peu de tendance à descendre sur le mur, car il continue pendant un temps plus ou moins long à être sollicité par la poussée intérieure du gra-

nite, refoulé sous la calotte S par les affaissements généraux de l'écorce.

Seulement, lorsque cette influence aura cessé, il se produira en sens inverse un tassement des parties superficielles pour suivre le retrait des matières éruptives. Cet effet tendra à ramener le sommet S à une altitude moins élevée S', en profitant des fractures anticlinales déjà opérées pour en faire glisser le toit sur le mur, et déterminant au besoin de nouveaux éclatements du même genre. Quant aux fissures conformes *f*, elles auront alors moins de tendance à jouer; car on peut admettre que les tassements de la partie sédimentaire auront fini par trouver leur équilibre. C'est donc surtout la production de cassures anticlinales qui prédominera jusqu'à la fin, et en effet M. Henwood les considère comme plus fréquentes que les autres [1]. Mais cette seconde période, inverse de la première, produisant une sorte de bascule vers la région moyenne, moins solidement arc-boutée que le pied du talus, y développera dans les deux sens des fêlures, qui, se croisant les unes les autres, pourront même *s'intercepter* mutuellement, de sorte que telle fente anticlinale s'arrête brusquement sur une fracture synclinale, sans se propager au delà, ou réciproquement.

28 — Ce grand plissement de la croûte terrestre adoptera naturellement sur la sphère la ligne de moindre résistance, c'est-à-dire un arc de grand cercle, qui dessinera la direction de tous les plans *f* et φ dont nous venons de parler. Mais l'on comprend en même temps qu'un si vaste mouvement ne pourra se propager au loin, sans déterminer des fatigues transversales qui se traduiront de leur côté par d'autres fractures. Celles-ci épouseront également les surfaces de moindre résistance capables de permettre ces jeux secondaires, c'est-à-dire des plans perpendiculaires à la direction précédente. Le rôle des fractures transversales est en effet visible, quoique d'une manière plus effacée, dans ces grands phénomènes de dislocation.

[1] Henwood, *Remarques sur les gisements métallifères du Cornwall.* (*Annales*, 7e, II, 173.)

29 — Lorsqu'une durée suffisante aura éteint l'activité du phénomène, il arrivera que d'autres affaissements généraux de l'écorce devront se produire pour marquer une nouvelle ère de refroidissement. Bien souvent le défaut d'équilibre et de consolidation de l'édifice que nous venons de décrire, le prédisposera à servir encore une fois de charnière pour un nouveau mouvement. Des fractures différentes pourront s'ajouter aux anciennes dans la même direction; ces dernières, mal soudées, auront tendance à se rouvrir, et d'autres, restées ouvertes, exécuteront de nouveaux glissements.

Si, au contraire, les efforts proviennent d'une région éloignée, avec une tendance oblique prononcée, un phénomène semblable au premier se reproduira, mais dans une direction différente, et son système de fractures sera un *croiseur* du précédent. Une circonstance analogue pourra même renaître, et affecter le premier champ de fractures plusieurs fois consécutivement, par des systèmes de croiseurs dont chacun exercera son influence sur tous les précédents, tandis que l'observateur n'en constatera aucune sur ceux qui ont suivi; ce qui lui fournira le critérium caractéristique de l'âge relatif de ces divers phénomènes.

On peut remarquer, à cet égard, que plus un certain champ de fractures aura été déjà éprouvé par des dislocations répétées, plus il deviendra apte par son peu de solidité à ressentir le contre-coup d'effets éloignés, plus facilement qu'une étendue encore intacte interposée entre les deux centres. On peut expliquer par là l'extrême complication de certains districts métallifères, et le retentissement qu'y ont exercé des soulèvements dont le théâtre principal se trouvait à une grande distance, quoique on y en retrouve pourtant la trace. C'est ainsi qu'à Vialas, Rivot a déterminé l'influence de huit systèmes de montagnes différents (1) et de sept époques de remplissage. MM. Michel Lévy et Choulette ont noté de même dix influences distinctes de soulèvement à Przibram (Bohême) (2). La quantité absolue des fentes est parfois innombrable. On a reconnu plus de mille filons dans le gneiss de Freyberg. Le nombre s'élève

(1) Rivot, *Annales*, 6e, IV, 309 et 379.
(2) Michel Lévy et Choulette, *Annales*, 6e, XV, 182.

encore quand il s'agit de veinules de retrait, et on en a énuméré jusqu'à six mille dans les mines d'or de Berezowski (Oural).

30 — *Minéralisation.* — Parmi les fissures auxquelles ces grands phénomènes mécaniques ont donné naissance, les unes sont restées stériles. On les appelle *failles*, et elles ne présentent guère pour le mineur que des influences fâcheuses. D'autres, au contraire, ont reçu de l'intérieur un remplissage, souvent utilisable pour l'industrie. Elles portent le nom de *filons*. Cette minéralisation s'est du reste effectuée d'après plusieurs modes distincts.

Principalement dans la région qui avoisine l'axe du soulèvement, certaines cassures, en relation profonde avec les liquides comprimés, ont été directement remplies par ces matières qui ont pu même s'épancher par-dessus l'affleurement. Ce sont les filons d'*injection* dont l'ensemble est constitué par une roche homogène. Ce genre de formation, qui a pris une grande part dans la composition des masses pierreuses de l'écorce terrestre, n'a joué qu'un rôle plus effacé en ce qui concerne les gîtes métalliques.

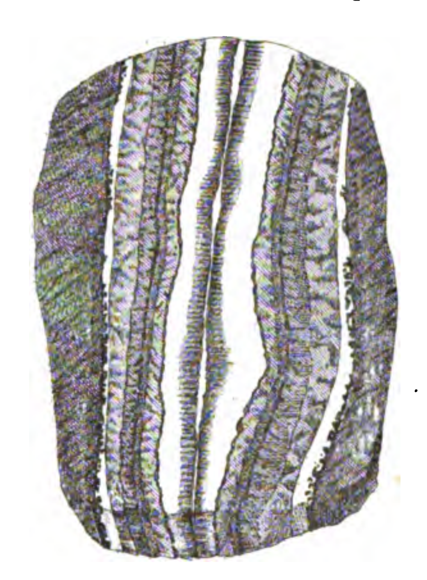


Fig. 9. Coupe transversale d'un filon.

Près des bords de la chaîne, au contraire, dans la région où l'intensité du phénomène s'est trouvée atténuée, des communications trop étroites pour permettre de tels épanchements, mais encore perméables aux gaz, ou le plus souvent à la vapeur d'eau charriant diverses substances volatiles, ont été remplies par *sublimation*. C'est souvent aussi le mode de minéralisation des fissures de retrait, opérées pendant la solidification des masses éruptives.

Un troisième mécanisme a formé les filons d'*incrustation*. Certaines fentes sont restées longtemps béantes, ou se sont rouvertes

successivement un certain nombre de fois, en raison des tassements et malgré la soudure imparfaite de leurs parois. Elles ont formé ainsi un réseau de circulation souterraine pour les eaux thermales qui, après s'être chargées de diverses substances dans les régions profondes, sont venues les déposer sur les parois, en raison des changements de température, de pression, d'état électrique, qu'elles subissaient en remontant à des niveaux supérieurs, ou des réactions chimiques opérées avec les matières encaissantes. Les variations de composition survenues dans ces eaux, aux diverses époques du phénomène, ont souvent donné lieu, avec la plus grande netteté, à une disposition rubanée (fig. 9), symétrique des deux côtés du filon, avec un vide central et des cristallisations dont les pointements sont dirigés vers l'intérieur.

C'est précisément cet ensemble complexe d'actions exercées par les sources hydrothermales et les véhicules gazeux, dont il s'agit en ce moment de démêler les lois, pour prévoir celles qui ont dû inflnencer la répartition de la richesse dans les filons, et qui formeront le guide nécessaire du mineur dans ses travaux de recherche intérieurs.

§ 2

INFLUENCE DE LA NATURE DES ROCHES ENCAISSANTES

31 — *Influences chimiques.* — Les lois qui ont présidé à la répartition de la minéralisation dans l'intérieur des fentes naturelles [1] dépendent de deux classes différentes d'influences : la nature des roches encaissantes [2] et les conditions géométriques de la fracture.

[1] Les énoncés propres à guider les mineurs, en ce qui concerne la distribution de la richesse des gîtes métallifères, ont été formulés principalement par Charles Thomas (*Remarks on the Geology of Cornwall and Devon in connexion with the deposits of metallic ores and on the bearings of the productive lodes*, 1859), Henwood (*Annales*, 7e, II, 165), Carne, Fox, Tregaskis, Rivot, M. Fuchs, M. l'ingénieur en chef des mines Moissenet, dans un important ouvrage (*Sur les parties riches des filons*, 1874), que nous avons souvent mis à contribution, etc.

[2] Cette influence était déjà classique du temps de Délius, qui l'énonce d'une manière générale et cite à l'appui l'exemple des mines du Banat. (*Instruction sur l'art des mines*, 1773, traduction de Schreiber, I, 64.)

L'influence des roches s'est exercée de deux manières distinctes : d'après leur nature chimique et ses rapports avec la composition des eaux minérales; ou d'après leurs qualités physiques, propres à déterminer un mode de fracture présentant telles ou telles circonstances géométriques.

L'action chimique correspond elle-même à deux ordres d'idées différents. D'une part les épontes, en réagissant sur la solution qui les baigne, provoquent des doubles décompositions de nature à amener le dépôt des matières dissoutes. En second lieu, l'attaque plus ou moins facile des roches par cette action corrosive a préparé un emplacement plus ou moins large pour l'abondance de ces dépôts.

Examinons successivement ces divers côtés de la question.

32 — L'influence des doubles décompositions est manifeste. Les eaux stannifères, en attaquant le granite, y ont trouvé les éléments nécessaires pour saturer les principes minéralisateurs, tels que le fluor, qui servaient à charrier l'étain. Dès lors l'oxyde de ce métal s'est déposé et en même temps la roche, profondément altérée, s'est trouvée imprégnée de minéraux caractéristiques, tels que la tourmaline, laissés sur place comme des témoins de ces réactions.

Les solutions plombifères, en dissolvant les calcaires du Derbyshire, ont déposé dans ces strates le sulfure de plomb, tandis que dans le trapp, ou toad-stone, moins attaquable, le filon disparaît à peu près et *meurt*. Il en est de même pour la *table de pierre* dans les mines des Cordillières.

A Schladming (Styrie), un filon assez pauvre en nickel a recoupé quatre couches *brûlées*, imprégnées de mispickel. Le nickel d'un côté, et l'arsenic de l'autre, se sont pour ainsi dire donné rendez-vous sur les intersections rectilignes de ces systèmes de plans, et l'exploitation s'est concentrée sur ces sortes de prismes minéralisés.

33 — Quant à l'influence de la roche sur le volume final du gisement, elle est également évidente. Les filons du Cumberland sont riches dans le calcaire, pauvres dans les grès, stériles dans le

schiste. Ceux du Cornouailles sont riches dans le killas, pauvres dans le granite. Les gîtes qu'on appelle *calaminaires* se sont étendus au loin, et sans formes régulières, dans les calcaires, de manière à s'y substituer, sur des étendues considérables, au carbonate de chaux.

On ne doit pas dissimuler en même temps que les gîtes qui ont présenté le plus de facilités à la circulation des sources hydrothermales, auront souvent, en raison de leur nature cariée, conservé une partie de cette aptitude, et que les exploitations qu'on y pratique risquent d'être particulièrement gênées par l'abondance des eaux.

Les bancs rebelles à l'action des liquides minéraux ont formé en quelque sorte des barrages, qui, en gênant la circulation des eaux, les ont amenées à s'étendre au large au-dessous de cet écran, de manière à développer leur action dans cette région. C'est ainsi que dans la formation du Laurium, où les calcaires alternent avec les schistes, le gisement de plomb et de zinc s'épanouit dans le calcaire, à chaque contact de cette roche avec un banc schisteux qui la surmonte.

34. — Il est clair que de pareils échanges ne peuvent s'opérer sans altérer considérablement la composition des eaux, et modifier par suite les réactions dont elles seront capables à des niveaux supérieurs. Aussi est-ce un fait extrêmement fréquent que la variation de la nature d'un filon avec la hauteur.

En général, on doit craindre, pour l'avenir d'une affaire industrielle, leur appauvrissement dans la profondeur; les dépôts n'ayant commencé à s'effectuer que lorsqu'en approchant de la surface, ces véhicules voyaient se modifier leur température, leur pression, leur état électrique. Un pareil phénomène pèse sur toute la formation métallifère du Derbyshire et a amené un grand ralentissement dans la prospérité de ce district minier. Les cuivres gris argentifères s'appauvrissent presque toujours dans la profondeur. L'affaiblissement de la minéralisation peut même être quelquefois d'une incroyable rapidité. On a vu par exemple, dans certaines mines d'or de l'Amérique du Sud, des fissures de retrait

présenter une teneur de 92 grammes à la tonne près de la surface, 16 grammes à 10 mètres d'approfondissement et uniquement des traces à 20 mètres.

On voit également des amas, très puissants à la surface et de nature à faire concevoir de grandes espérances, tourner court à peu de distance et s'amincir rapidement. Cela tient à ce que les sources hydrothermales arrivant vivement par les fentes, s'épanchaient à la surface en forme de bassin plus ou moins étendu, dans lequel elles pouvaient agir à loisir. Les gîtes calaminaires exposent souvent à de pareilles déceptions, et il est prudent de n'y enfouir qu'à bon escient des capitaux importants dans des aménagements étendus et onéreux.

Il arrive quelquefois, au contraire, quoique beaucoup plus rarement, que des filons s'enrichissent en profondeur, ce qui revient à dire que les eaux s'appauvrissaient en montant, en raison des échanges opérés avec les parois, et qu'elles épuisaient ainsi leur action. Certaines couches interceptent absolument le filon, qui ne présente plus au delà aucune minéralisation.

On observe enfin des modifications, non seulement dans la teneur, mais dans la nature de cette minéralisation; tel élément commençant à entrer en scène dans les doubles décompositions, lorsque la solution s'est suffisamment appauvrie par rapport à un autre réactif d'affinités plus énergiques. Il est arrivé, par exemple, dans le Cornwall, que des filons de cuivre passent à l'étain (1) et réciproquement (2). Dans les mines de métaux précieux de la chaîne des Andes, à une zone riche superficielle chloro-bromo-iodurée succède souvent une bande oxydée, cariée et appauvrie, après quoi une nouvelle zone plus favorable se rapproche des caractères de la première.

35 — Un phénomène de ce genre se présente avec une certaine

(1) Le *main Lode* de Dolcoath, après le passage du chapeau de fer, a présenté, de 20 mètres à 320 mètres, une grande richesse en cuivre. A partir de ce point, la teneur a décliné rapidement et l'étain a commencé à apparaître. A la profondeur de 380 mètres, on est arrivé à créer la plus productive des mines d'étain du Cornwall. Le filon présente encore, à 700 mètres, un très beau caractère.

(2) Combes, *Traité d'exploitation*, t. I, p. 37.

constance dans un très grand nombre de formations métalliques. Il résulte avec évidence de l'influence exercée, lorsque les eaux minérales arrivaient près du jour, par l'oxygène de l'air, agissant, soit directement, soit par l'intermédiaire des eaux de surface. On observe presque toujours, à l'intersection de la masse par le niveau hydrostatique des eaux de la région, un changement de nature du minerai, qui est parfois aussi brusque que complet. Il donne naissance au *chapeau de fer*. Les sulfures se sont oxydés, et les terres rouges, les squelettes d'oxyde de fer sont restés seuls, pendant que redescendaient des sulfates solubles. Ceux-ci, subissant à leur tour une nouvelle réduction, après être sortis de la zone oxydante, ont fixé de nouveau leur radical en déterminant la formation d'une zone riche immédiatement au-dessous du chapeau de fer.

C'est ainsi que le cuivre, qui manque dans les chapeaux de fer de Tharsis et de Rio-Tinto (Huelva), se trouve accumulé avec une teneur sensiblement plus grande que celle de la masse inférieure, dans la zone immédiatement subordonnée au plan des eaux topographiques [1]. De même au Canigou (Pyrénées orientales), certains niveaux séparent le minerai rouge du minerai blanc.

On a rencontré des filons dont le sommet, préservé dès le premier moment de l'action des eaux extérieures, est resté formé de pyrites. Au-dessous, une zone d'oxydation correspond au plan hydrostatique, puis la pyrite reprend dans la profondeur.

La conclusion à tirer de ces observations est qu'il sera bon d'apprécier autant que possible la situation probable de ce plan de niveau des eaux, et de diriger d'après cela les travaux de recherche de manière à couper le filon en pleine richesse.

36 — *Influences physiques.* — Les propriétés physiques de la roche ont pu intervenir par sa plus ou moins grande conductibilité pour la chaleur et l'électricité. Mais l'influence la plus nette est celle de la ténacité.

On peut la caractériser par l'énoncé suivant : *Les parties les plus*

(1) Délius avait sans doute connaissance de faits analogues, car il énonce la formule suivante comme un « proverbe de mineurs : Il n'y a jamais de si bonnes mines que celles qui ont un chapeau de fer. » (*Instruction sur l'art des mines*, traduction de Schreiber, I, 69.)

avantageuses d'un filon sont celles qui sont encaissées dans les roches de* DURETÉ MOYENNE.** On les appelle ***bonnes couches. Celles qui sont ou trop dures ou trop friables sont désignées sous le nom de ***mauvaises couches.***

On comprend en effet que des roches dures ou élastiques cèdent difficilement à l'effort de rupture, et que la séparation y manque de netteté. Les terrains friables, au contraire, obéissent sans résistance, mais les épontes sont dépourvues de solidité, elles tendent à s'ébouler et à refermer la fente, en obstruant les canaux à l'aide desquels les eaux minérales auraient pu la transformer en un filon utile. Des roches poreuses laisseront les eaux s'éparpiller au hasard, au lieu de se concentrer dans le laboratoire du filon.

Au contraire, quand ces qualités extrêmes sont remplacées par une moyenne convenable, le terrain se fend avec netteté, et la fracture persiste ensuite assez longtemps pour pouvoir être avantageusement minéralisée.

Il n'est pas inutile de faire observer que, pour appliquer cette règle d'une manière rationnelle dans des travaux de recherche, il convient d'apprécier la dureté de la roche encaissante, non pas dans les épontes immédiates, où la roche n'est plus que l'ombre d'elle-même, par suite des altérations qu'elle a subies, mais dans sa masse même et à une distance suffisante pour qu'on puisse apprécier ce qu'était le terrain, au moment où il a été sollicité à se fendre.

§ 3

INFLUENCE DE L'ORIENTATION DES FILONS

37 — ***Influence de l'inclinaison.*** — Lorsqu'une fracture tend à se propager à travers l'écorce terrestre, elle prend naturellement la voie de moindre résistance. Si nous supposons d'abord la masse homogène, ce sera la voie la plus courte, c'est-à-dire le plan vertical. Aussi les filons métallifères présentent-ils la plupart du temps un pendage très accentué, quand ils ne sont pas absolument verticaux.

Si, au contraire, la masse du terrain n'est pas homogène, la

surface de moindre résistance ne sera plus celle de moindre étendue géométrique. Ce qu'il y a lieu alors de rendre minimum par la pensée, sera la somme des produits de chaque élément superficiel par sa ténacité spécifique. On comprend, d'après cela, que la surface d'ensemble, tout en restant plane dans chaque strate homogène, pourra présenter une orientation variable d'une couche à l'autre. Ce filon, si on le mettait à nu par l'enlèvement de son toit, présenterait à la vue une série de bandes comprises entre des droites parallèles, formant des *cannelures* de directions et de plongements variables. La figure 10 représente, avec le système des *plans cotés*, cet état de choses.

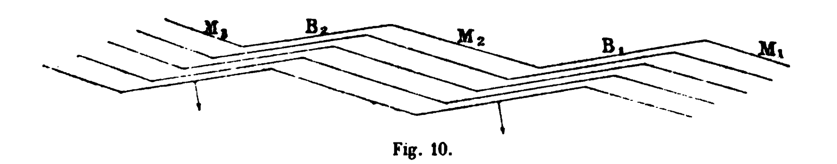


Fig. 10.

Il s'attache par suite un grand intérêt à discerner l'influence que pourra exercer sur la richesse la variation de la direction et du plongement, suivant qu'on se dirigera dans le filon par une galerie de niveau ou par une fendue suivant la ligne de plus grande pente.

38 — En ce qui concerne d'abord la variation d'inclinaison, on peut énoncer cette règle essentielle : *Les parties les plus raides sont les plus riches*. Il va sans dire que cette formule ne doit pas être entendue d'une manière absolue, en ce sens que tout filon A moins incliné qu'un filon B, doit par cela même être moins fructueux, ce qui serait absurde; mais, au contraire, que, *dans un même filon*, soumis originairement à la même circulation hydrothermale, les parties plus redressées ont été en général plus enrichies par le mode de formation [1].

[1] On attribue d'ordinaire cette remarque à Richard Thomas, qui l'a formulée en 1819 (*Report on a Survey*, etc., p. 20); mais le fait était bien connu des anciens mineurs français, car Hellot l'a énoncé en 1756, dans sa description de l'exploitation des mines de Baigorri, en Basse-Navarre (Gobet, *Anciens minéralogistes du royaume de France*, t. I, p. 216). Cette règle était cependant encore niée par Délius en 1773. (*Instruction sur l'art des mines*, traduction de Schreiber, I, 49.)

Le fait s'explique du reste facilement. En effet, dans le glissement du toit sur le mur (fig. 11), les parties plates, servant de support, n'ont pas de motif de varier sensiblement d'épaisseur, tandis que la largeur des parties verticales va toujours en augmentant par l'écartement progressif de leurs épontes. De plus, les vides sont toujours entretenus dans ces zones par les petits mouvements successifs, tandis que le poids supporté par la partie plate doit la broyer dans ce glissement, en produisant des salbandes argileuses et gênant la circulation des sources hydrothermales. C'est donc dans les parties raides que ces dernières trouvent à la fois le plus de facilité pour circuler et les plus grands emplacements pour effectuer les dépôts. On peut, d'après cela, penser que ce seront les plus productives, et l'expérience est en effet conforme à cette manière de voir [1].

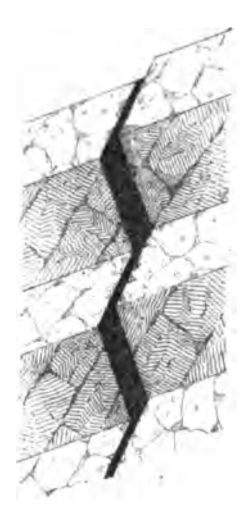


Fig. 11.

Il est du reste un second motif qui milite précisement dans le même sens. En effet, nous avons vu que l'influence de la roche s'exerce en ce que les cannelures les plus fructueuses sont ouvertes dans les couches de dureté moyenne. Celles-ci auront obéi plus facilement que les autres à la tendance générale à la rupture qui s'exerce suivant un plan vertical. Elles seront donc essentiellement des parties raides. Au contraire, les roches trop dures, qui correspondent aux cannelures moins productives, résistant davantage par leur ténacité propre, tendent à dévier la fracture suivant leur propre surface de moindre résistance, c'est-à-dire dans le plan perpendiculaire déterminé par leur normale et par la droite suivant laquelle ils sont abordés par la fracture de la bonne couche, plan

[1] On voit en même temps, et ce fait avait été spécialement énoncé par Henwood (*Metalliferous deposits*, 1843, p. 231), que quand on passe, en suivant la ligne de plus grande pente d'un filon par un puits incliné, d'une partie plate à une partie raide, le mur plonge le premier, pendant que le toit se tient encore, sur une certaine longueur, à la même inclinaison, et ne prend que plus loin le nouveau pendage.

qui, en abandonnant la verticale, se sera plus ou moins couché, ce qui est conforme à l'énoncé.

On peut, d'après cela, juger à première vue, sur un plan de mines où se trouvent figurées les galeries de niveau (fig. 10), quelles doivent être les cannelures les plus productives, d'après l'espacement de ces galeries en projection horizontale. Les parties serrées, marquées B, sont les plus raides : ce sont les Bonnes cannelures; les plus claires, marquées M, correspondent aux plus plates : ce sont les Mauvaises cannelures.

39 — *Influence de la direction.* — M. Moissenet a dégagé le premier une importante règle, analogue à la précédente, mais plus dissimulée sous l'obscurité des observations. Il l'énonce de la manière suivante [1] : ***Les parties riches des filons sont souvent orientées selon la direction du système stratigraphique auquel se rapporte la fracture initiale du filon, dans la région soumise à l'observation.*** De là un élément d'appréciation dans les recherches, qui, tout en exigeant des connaissances étendues en géologie, des mesures attentives sur le terrain, et des calculs assez délicats que nous indiquerons plus loin, fournira un guide précieux pour la conduite des explorations et des aménagements.

Nous venons de voir, en effet, que les parties les plus riches sont les plus raides. Leur type le plus simple sera donc un plan vertical, parallèle à la direction générale du plissement formé par le système de soulèvement auquel on cherchera à le rattacher [2]. Les zones les plus riches auront par suite une direction très rapprochée de celle-ci; les moins bien partagées, une direction plus ou moins différente.

On ne devra pas se contenter, par conséquent, d'apprécier la direction *générale* du filon, que l'on obtient en joignant l'un à l'autre deux points, quelconques, mais très éloignés. Il faudra en outre

[1] *Parties riches des filons*, p. 26.

[2] Pour apprécier la direction d'un système de soulèvement à une certaine distance de la chaîne de montagnes à laquelle il a donné naissance, on abaissera du point en question un arc de grand cercle perpendiculaire sur celui de la chaîne, et on élèvera à cet arc, par le même point, un grand cercle perpendiculaire. Ce dernier arc fournit la direction cherchée.

scruter attentivement les ***déviations*** locales qui correspondent aux diverses cannelures. Ces inflexions peuvent être plus ou moins prononcées. Tantôt (fig. 12) elles sont douces, comme les ***turns*** de Cornouailles; tantôt (fig. 13) on rencontre de petits coudes plus

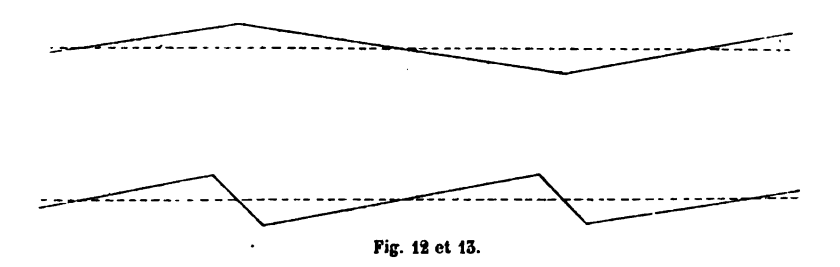


Fig. 12 et 13.

brusques appelés ***warps*** dans cette région métallifère. Parfois, de longs alignements du filon présentent des déviations étendues, sur chacune desquelles se superposent des oscillations de moindre longueur.

Mais, lorsqu'on cherche ainsi à entrer dans les détails des effets de fracture, les choses ne se passent plus tout à fait de la même manière dans les cassures anticlinales φ, ou synclinales f (fig. 8). Il se mêle dans ces dernières des effets d'arrachement dont il y a lieu de tenir compte. Précisons cette distinction [1].

40 — Envisageons d'abord (fig. 14) une fracture anticlinale, on inverse, φ'. Elle affecte une masse stratifiée dont les couches se trouvent représentées sur le plan vertical de leur ligne de plus grande pente, mené par $\xi\ \eta$. Nous y distinguons en $\mathscr{B}_1', \mathscr{B}_2', \mathscr{B}_3',\ldots$ les bonnes couches, et en $\mathscr{M}_1'\mathscr{M}_2'\mathscr{M}_3',\ldots$ les mauvaises couches. En les coupant par le plan horizontal $\xi'\ \eta'$, nous obtenons les lignes de direction qui les séparent en projection horizontale suivant $\mathscr{B}_1, \mathscr{B}_2, \mathscr{B}_3,\ldots$ et $\mathscr{M}_1, \mathscr{M}_2, \mathscr{M}_3.\ldots$

Le filon y affecte la forme dentelée de la ligne $\varphi\varphi$. Les parties $\beta_1, \beta_2, \beta_3,\ldots$, qui sont situées dans les bonnes couches, sont, comme nous venons de le voir, celles qui représentent le mieux sur le plan horizontal la direction du système de soulèvement. Le plongement

(1) Moissenet, *Parties riches des filons*, p 31

marqué par les flèches est, par hypothèse, en sens contraire de celui

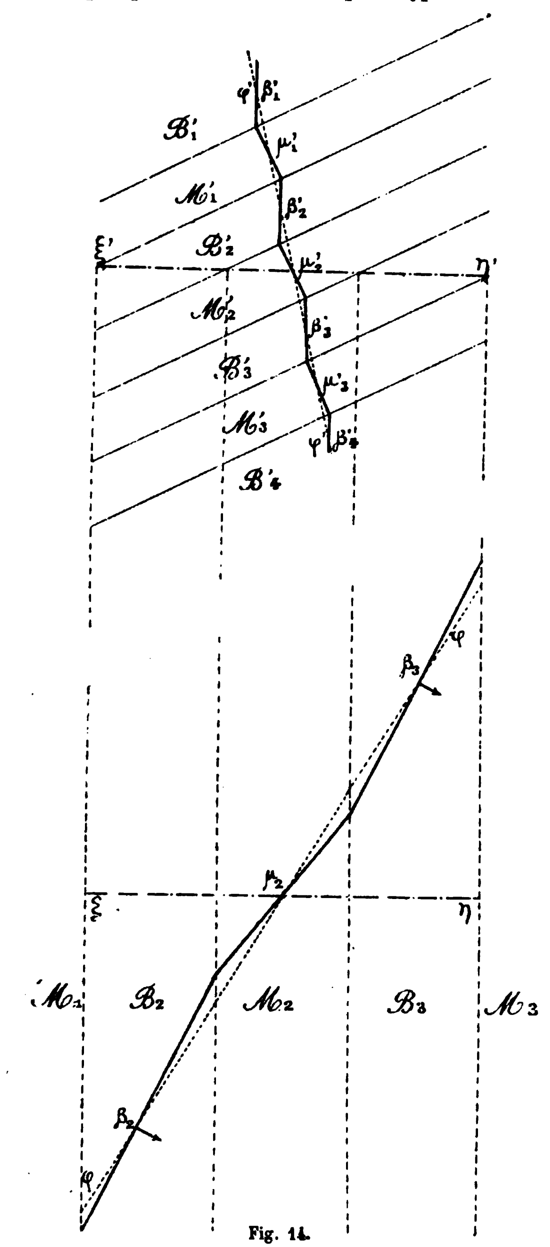


Fig. 14.

de la stratification. Le filon coupe le plan vertical suivant un alignement général $\varphi'\varphi'$. Dans les bonnes couches, on observe des parties β_1', β_2', β_3'.... très rapprochées de la verticale; dans les mauvaises, des travées μ_1', μ_2', μ_3'..., inclinées au contraire vers la normale de la stratification. La traversée des mauvaises couches est donc plus courte, et par suite les mauvaises obliques μ_1, μ_2, μ_3..., doivent être un peu plus rapprochées que les bonnes β_1, β_2, β_3..., de la perpendiculaire $\xi\,\eta$ à la direction. Elles sont donc déviées de la direction du système de montagnes *en s'éloignant* de celle de la stratification.

41 — Supposons maintenant, au contraire (fig. 15), une fissure synclinale ou conforme f, f'. En plan, elle est supposée avoir ses bonnes parties

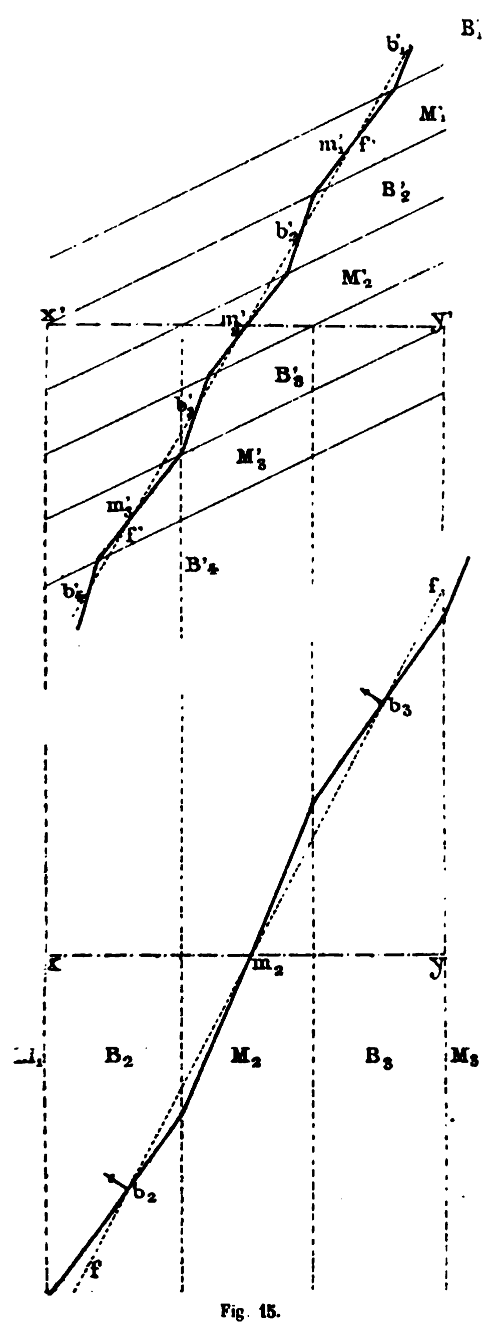


Fig. 15.

b_1, b_2, b_3..., dans la direction du système de montagnes, c'est-à-dire parallèles à β_1, β_2, β_3..., de la figure 14. Quant aux mauvaises travées m_1, m_2, m_3..., nous allons voir qu'elles s'en dévient à l'inverse de ce qui avait lieu pour μ_1, μ_2, μ_3..., c'est-à-dire *en se rapprochant* de la direction de la stratification.

Si nous examinons, en

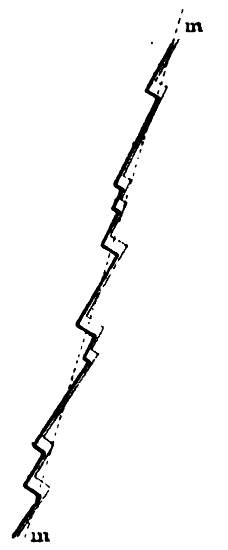


Fig. 16.

effet, la coupe verticale, en suivant l'alignement moyen $f' f'$, les bonnes parties b_1', b_2', b_3'..., se rapprocheront, comme il

a été dit, de la verticale. Les mauvaises m_1', m_2', m_3'..., étant destinées à reporter des efforts en des points qui sont éloignés obliquement l'un de l'autre, y parviendront en combinant, en proportion variable suivant les circonstances, avec la ***direction géométrique de moindre résistance***, qui est la normale, la ***direction physique de moindre résistance***, qui est celle des lits mêmes de la stratification, mal soudés ensemble. Dès lors, la travée *mm* (fig. 16), au lieu de se briser en ligne droite, dessinera des *dents de scie*, en arrachant longitudinalement des fibres peu épaisses, et les décollant latéralement les unes des autres sur de plus grandes longueurs [1].

D'après cette prédominance des longueurs comptées suivant la direction des couches sur celles qui leur sont normales, on voit que la traversée de *m* doit être plus longue que celle de *b* entre les mêmes lignes de direction (fig. 15), et, par suite, que *m* se dévie vers ces dernières, comme nous l'avons annoncé [2].

§ 4

INFLUENCE DE L'ORIENTATION DE LA STRATIFICATION

42 — *Colonnes de richesse.* — Après avoir, autant que possible, établi la classification probable d'importance des diverses cannelures, il reste à prendre un aperçu de la répartition vraisemblable de la richesse dans l'étendue de chacune d'elles en particulier.

On peut formuler, d'après Tregaskis, cette règle d'observation : *Le minerai affecte en général la forme de bandes ou colonnes*

(1) Ce décollement sera d'ailleurs, ou non, suivi d'un déplacement longitudinal tel que celui qui a été représenté sur la figure 16. Il pourra, à la vérité, se former des *nids* de minerai dans ces petites chambres, mais chacun d'eux ne présentera aucune suite, et les mineurs savent que la disposition du toit en petits gradins est un indice défavorable.

(2) Dans l'analyse attentive qu'il a faite de ces effets dans le Cornwall, M. Moissenet ajoute, avec beaucoup de prudence, que les lois qui les résument, en dérivant d'aperçus généraux si rationnels, ne peuvent cependant être pris pour des axiomes qui doivent nécessairement régir tous les districts métallifères. Il en a cité lui-même des exceptions (*Parties riches des filons*, p. 16). M. l'ingénieur des mines Lecornu énonce de même (*Annales*, 2e, XIV, 35) que le Derbyshire ne se prête pas exactement à leur application. En revanche, ces considérations se sont parfaitement adaptées aux filons aurifères de Gondo (Valais). (Burthe, *Annales*, 7e, VII, 199.)

riches, plongeant dans le filon suivant le sens de ses lignes d'intersection par la stratification encaissante. On comprend, en effet, que la nappe d'écoulement hydrothermale, engagée dans le lit indéfini formé par le plan de la fracture, s'y ramifie en courants plus prononcés, et par suite plus efficaces, suivant les canaux naturels qui lui offriront moins d'obstacles et un passage plus facile. Or les joints des couches forment les plans les moins résistants de la masse du terrain. Leurs traces sur celui de la fente auront donc plus de chances de s'égrener, de s'éclater, pour former de tels canaux. Le minerai présentera, d'après cela, une tendance à s'y disposer en colonnes allongées.

Telle est en effet, dans les stratifications inclinées, la forme des *shoots of ore*, ou coulées de minerai, des mines de Cornouailles (fig. 17). Lorsque deux galeries de niveau consécutives ont rencontré

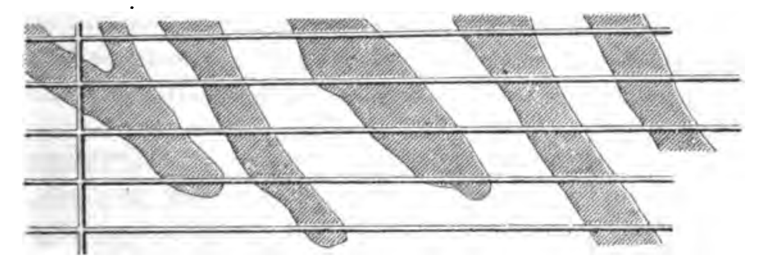


Fig. 17. Shoots of ore.

dans un ordre concordant des alternatives de minerai et de stérile, il y a des chances pour que cette disposition se propage à une certaine profondeur. Dès lors une exploitation attentivement conduite peut espérer une production soutenue et avantageuse (¹).

Tel est aussi, quand le terrain et le filon ont la même direction, le *course of ore*, qui est allongé suivant l'horizontale (fig. 18). Si une galerie de niveau se maintient pendant longtemps sans discontinuité dans une telle *bonanza* (suivant l'expression des mineurs espagnols), il y a des chances pour que plusieurs autres niveaux rapprochés se trouvent dans les mêmes conditions en promettant à l'exploitant une récolte rapide et abondante.

(¹) Moissenet, *Parties riches des filons*, p. 10.

Il va sans dire que cette règle est loin d'être sans exceptions, et qu'à la disposition longitudinale des colonnes s'adjoint souvent la forme ramassée des taches de minerais disséminées sans loi apparente, quand les communications intérieures ont manqué de régu-

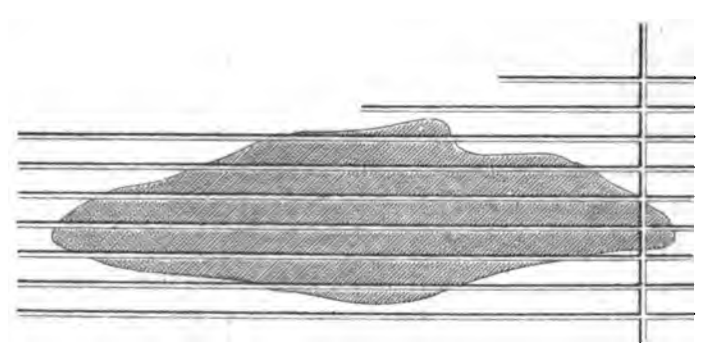


Fig. 18. Courses of ore.

larité. Dans ce cas l'ingénieur doit se considérer perpétuellement comme à l'état de recherches systématiques, pour éclairer sa marche et s'assurer une certaine constance de production (1).

43 — *Recherches en dehors du filon.* — Les explorations ne se restreindront pas, du reste, au plan de la cassure principale. On suivra attentivement les dérivations qui s'en détachent dans les épontes. Souvent elles y meurent à peu de distance, mais parfois aussi elles prennent de l'importance par elles-mêmes, ou vont se rattacher à quelque autre filon d'une valeur comparable à celle du premier. On doit alors s'attacher de préférence à celles de ces branches dont la direction se rapproche le plus de l'alignement de l'ensemble du filon. On peut aussi, dans le doute, préférer d'abord celle du mur. Il y a des chances pour que le toit de la fracture soit plus disloqué par les mouvements qu'il aura subis et que les veines y soient moins bien réglées.

(1) Il est arrivé, par exemple, vers la fin du siècle dernier, pour la mine des Challanches (Oisans), que Schreiber, en grevant son budget d'un chapitre écrasant de travaux de recherches qui atteignait jusqu'à 60 pour 100 des frais d'exploitation, est arrivé ainsi à la maintenir dans une prospérité relative, tandis que ses successeurs ont abouti à la fermer en peu d'années, pour avoir voulu faire l'économie de ce chef exorbitant de dépenses. (A. Caillaux, *Tableau général des mines métalliques de France*, p. 173.)

Si, au lieu de quelques branches caractérisées, on rencontre un véritable éparpillement du filon en forme de stockwerk, on y doit voir en général un signe précurseur de sa terminaison en direction.

Cependant il peut arriver que la somme des dérivations représente largement la valeur du corps du filon qui s'est ainsi ramifié. Cela arrive surtout pour les métaux qui sont venus de l'intérieur à l'état de produits volatils, comme l'or, le mercure, l'antimoine, l'étain. Ils ont trouvé par là plus de facilité à se répandre dans les moindres fissures. Dans certaines de ces formations, la roche a été imprégnée à une grande distance, et les recherches dans l'épaisseur des parois doivent prendre encore plus d'importance.

44 — Quant à la disposition relative des richesses dans les faisceaux de filons parallèles, elle n'est pas non plus abandonnée au hasard. C'est un fait connu, que, dans leurs grandes lignes, les enrichissements se correspondent à peu près, en regard les uns des autres. Cela est du reste assez naturel, puisqu'à de faibles distances, les conditions présentées par la stratification et les efforts généraux de fracture ne varient en général que faiblement, sauf des influences spéciales. C'est ce que les mineurs du Cornwall expriment par cette formule : *ore against ore*. Aussi un ingénieur expérimenté ne fera-t-il pas partir ses travers-bancs d'exploration, des parties plates et pauvres, en vue de découvrir des gîtes parallèles. Il les branchera au contraire sur des parties redressées et minéralisées, pour se donner plus de chances de *couper riches* les gîtes parallèles, afin de mieux les reconnaître au passage.

Quand on connaît ainsi plusieurs filons parallèles, il peut y avoir, dans l'aménagement général, plus d'avantages, en quittant un quartier après son épuisement, à attaquer les parties riches des filons voisins qui se trouvent en regard, qu'à pousser en direction dans le même plan, en s'exposant à traverser de longs espaces stériles.

45 — Si donc, enfin, l'on voulait résumer les traits les plus essentiels de cette longue discussion par une formule abrégée, malgré l'inconvénient de lui donner par là une forme trop concise et trop absolue, on pourrait dire qu'il faut, dans les gîtes métalliques :

1° Chercher d'abord le bon terrain, c'est-à-dire celui qui se recommande par sa dureté moyenne, et par une nature chimique bien en rapport avec les réactions qui ont dû donner naissance au gisement.

2° Parmi les diverses déviations que présente la direction, s'attacher à celles qui se rapprochent le plus de l'alignement représentant dans la localité le système de soulèvement auquel on rattache la fracture.

3° Parmi les divers plongements, choisir les plus raides.

4° Enfin, une fois dans le filon, suivre les masses minérales autant que possible dans le sens du plongement du terrain encaissant.

CHAPITRE III

ÉTUDE GEOMÉTRIQUE DES PARTIES RICHES

—

§ 1

ORIENTATION DES COLONNES DE RICHESSE

46 — L'importance de l'influence exercée sur la richesse des diverses cannelures d'un filon par leurs directions et inclinaisons, ainsi que par celle de la stratification encaissante, mérite que nous établissions les relations mathématiques qui existent entre ces divers éléments. On peut suivre pour cela une marche analytique ou la méthode graphique. Nous les envisagerons l'une après l'autre [1].

Dirigeons l'axe OX vers le nord, OY vers l'est, OZ vers le zénith. Nous compterons les inclinaisons i de zéro à 90° au-dessous de l'horizontale, en supposant essentiellement que les plans plongent *de droite à gauche quand on regarde suivant la direction*. A cet effet nous laissons varier de 0° à 360° l'angle d que cette direction fait avec le nord. De cette manière, si un plan plonge à droite quand on regarde suivant son horizontale, il suffira d'augmenter ou de diminuer de 180° la valeur de cette direction, pour rentrer dans la convention précédente.

Un tel plan a pour équation :

$$(1) \qquad x \sin d - y \cos d + z \operatorname{cotang} i = 0.$$

[1] Moissenet, *Parties riches des filons*, p. 120. — Haton de la Goupillière, *Annales*, 8e, III.

En effet, d'une part, le cosinus de l'angle que l'on déduit de cette équation par rapport au plan horizontal est donné par la formule :

$$\frac{\text{cotang } i}{\sqrt{\sin^2 d + \cos^2 d + \text{cotang}^2 i}},$$

qui se réduit à $\cos i$. En second lieu, on a pour équations de la trace horizontale :

$$z = o, \qquad x \sin d - y \cos d = 0,$$

et cette droite fait avec l'axe OX l'angle d. D'après les conventions précédentes, cotang i a une valeur essentiellement positive, tandis que $\cos d$, et même $\sin d$, peuvent prendre des signes quelconques.

47 — Considérons l'équation (1) comme représentant la stratification. Désignons par j et $d + \delta$ l'inclinaison et la direction d'une cannelure, provisoirement quelconque, du gîte, en marquant par δ l'*angle horizontal* du terrain avec le filon. Ce dernier sera de même représenté par l'équation :

$$(2) \qquad x \sin (d + \delta) - y \cos (d + \delta) + z \text{ cotang} j = 0.$$

L'ensemble des relations (1) et (2), que l'on peut également mettre sous la forme :

$$\frac{x}{\text{cotg } i \cos (d + \delta) - \text{cotg } j \cos d} = \frac{y}{\text{cotg } i \sin (d + \delta) - \text{cotg } j \sin d} = \frac{z}{\sin \delta},$$

représente la droite d'intersection des deux plans, c'est-à-dire l'orientation probable des colonnes de richesse.

Pour la déterminer d'une manière pratique, nous calculerons son plongement θ au-dessous du plan horizontal. Le cosinus de l'angle que fait cette droite avec l'axe OZ, c'est-à-dire $\sin \theta$, s'exprime par la formule :

$$\sin \theta = \frac{\sin \delta}{\sqrt{[\text{cotg } i \cos (d+\delta) - \text{cotg} j \cos d]^2 + [\text{cotg } i \sin (d+\delta) - \text{cotg} j \sin d]^2 + \sin^2 \delta}},$$

c'est-à-dire, en réduisant :

$$(3)\qquad \sin\theta = \frac{\sin\delta \sin i}{\sqrt{\sin^2\delta + (\operatorname{cotang} j \sin i - \cos\delta \cos i)^2}}.$$

48 — Le minimum de θ correspond à $\delta = 0$, c'est-à-dire au cas où le terrain et le filon ont la même direction. On a alors $\theta = 0$, et les zones de richesse prennent l'aspect des *courses of ore* (n° 42). La même valeur minimum s'obtient encore, comme il est naturel, quand le terrain est horizontal, pour $i = 0$.

Quant au maximum, si l'on se donne le terrain et la direction du filon, c'est-à-dire i et δ, on voit que θ croît avec j. Les colonnes se redressent donc en même temps que le gîte. Si celui-ci devient tout à fait vertical, pour $\operatorname{cotang} j = 0$, on obtient le maximum θ_0 de θ :

$$(4)\qquad \sin\theta_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\operatorname{cotang}^2 i}{\sin^2\delta}}}.$$

Actuellement si, en continuant de considérer le terrain, et par suite i, comme donnés, on fait pivoter le plan du filon autour de la verticale, on voit que le maximum θ_1 de θ_0 correspond à celui de $\sin\delta$, c'est-à-dire à $\delta = 90°$. Les colonnes se redressent donc encore à partir de la position pour laquelle le filon et la stratification ont la même horizontale, jusqu'à ce que leurs directions, et par conséquent les plans eux-mêmes, deviennent rectangulaires. A ce moment, la formule (4) donne pour le maximum θ_1 de θ_0 :

$$(5)\qquad \theta_1 = i.$$

49 — On peut également déterminer la situation des colonnes par l'angle Θ qu'elles forment, dans le plan même du filon, avec l'horizontale de ce dernier. Ces deux droites et la projection horizontale de la première constituent un trièdre rectangle (fig. 19) qui four-

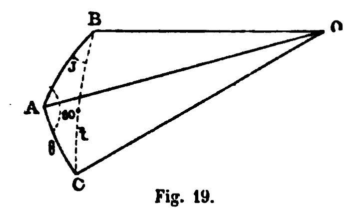


Fig. 19.

ou, en substituant la valeur (8) de λ,

$$(10) \qquad \operatorname{tang} \Delta = \frac{\sin \delta}{\dfrac{1 + \operatorname{cotang}^2 i}{\operatorname{cotang} i \operatorname{cotang} j + \cos \delta} - \cos \delta}.$$

52 — Cette déviation atteint le minimum $\Delta = 0$ dans deux cas distincts. D'abord pour $\delta = 0$, c'est-à-dire quand la cannelure et le terrain ont la même direction. Alors les trois plans et celui de l'horizon se coupent suivant une même droite.

C'est, en second lieu, pour :

$$\operatorname{cotang} i \operatorname{cotang} j + \cos \delta = 0,$$

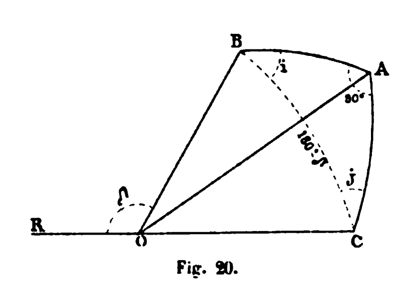


Fig. 20.

condition qui correspond au cas où le filon coupe à angle droit la stratification. Nous pouvons, en effet, considérer alors la fracture comme anticlinale au terrain en renversant sa direction, c'est-à-dire en remplaçant δ par $180° - \delta$. Nous obtenons alors un trièdre rectangle (fig. 20), qui fournit la relation connue :

$$\cos a = \operatorname{cotang} B \operatorname{cotang} C,$$

c'est-à-dire :

$$\cos (180 - \delta) = \operatorname{cotang} i \operatorname{cotang} j,$$

et nous ramène à la condition précédente.

53 — Quant au maximum, si l'on se donne encore le terrain et la direction de la bonne cannelure, c'est-à-dire i et δ, la déviation Δ croîtra avec j. Elle augmente donc sans cesse pendant que le filon se redresse jusqu'à la verticale [1]. A cette limite, pour

[1] Si au contraire c'était le terrain que l'on redressât par la pensée jusqu'à la verticale, en faisant cotang $i = 0$, il viendrait $\Delta = 90 - \delta$, comme il est aisé, du reste, de le vérifier directement.

cotang $j = 0$, on obtient le maximum Δ_0 de Δ :

$$\text{(11)} \qquad \operatorname{tang} \Delta_0 = \frac{\sin^2 i}{\operatorname{tang} \delta + \frac{\cos^2 i}{\operatorname{tang} \delta}}.$$

Si maintenant nous continuons à considérer le terrain, c'est-à-dire i, comme donné, en faisant pivoter le plan du filon autour de la verticale à partir de la direction de la stratification, Δ_0 partira de zéro, et reviendra à cette même valeur pour la direction rectangulaire $\delta = 90°$. Il atteint donc dans l'intervalle un maximum Δ_1, pour un certain angle horizontal δ_1 des deux plans. Comme d'ailleurs le produit des deux termes du dénominateur est indépendant de la variable δ, leur somme atteint son minimum (et, par suite, Δ_0 son maximum Δ_1) quand ces facteurs sont égaux :

$$\operatorname{tang} \delta_1 = \frac{\cos^2 i}{\operatorname{tang} \delta_1},$$

d'où l'on tire :

$$\text{(12)} \qquad \operatorname{tang} \delta_1 = \cos i.$$

La déviation maximum Δ_1 s'obtient en reportant cette valeur dans la formule (11), qui donne par là :

$$\text{(13)} \qquad \operatorname{tang} \Delta_1 = \frac{\sin^2 i}{2 \cos i}.$$

On peut encore exprimer l'angle horizontal δ'_1 du terrain et de la mauvaise cannelure la plus déviée, d'après l'équation (9),

$$\operatorname{tang} \delta_1' = \operatorname{tang} (\delta_1 + \Delta_1) = \frac{\operatorname{tang} \delta_1 + \operatorname{tang} \Delta_1}{1 - \operatorname{tang} \delta_1 \operatorname{tang} \Delta_1}.$$

Si donc on rend à δ_1 et Δ_1 leurs valeurs (12) et (13), on obtient ce résultat très simple :

$$\text{(14)} \qquad \operatorname{tang} \delta_1' = \frac{1}{\cos i} = \operatorname{cotang} \delta_1.$$

M. Moissenet, qui a donné directement [1] l'équation (11) relative au cas particulier du filon vertical, a calculé les valeurs fournies par les relations (12, 13, 14) pour des inclinaisons du terrain variant de dix en dix degrés. Nous les renfermerons dans le tableau suivant :

INCLINAISON DU TERRAIN	ANGLE HORIZONTAL DU TERRAIN avec les branches du filon susceptible de la plus grande déviation		DÉVIATION MAXIMA de la DIRECTION DU FILON
	BONNE CANNELURE	MAUVAISE CANNELURE	
i	δ_1	δ'_1	Δ_1
10°	44° 33′ 40″	45° 26′ 20″	0° 52′ 40″
20	43 13 10	46 46 50	3 33 40
30	40 53 30	49 6 20	8 12 50
40	37 27 10	52 32 40	15 5 30
50	32 43 50	57 15 50	24 32 0

§ 3

DÉVIATIONS DE L'INCLINAISON

54 — Cherchons en second lieu l'inclinaison j' de la mauvaise cannelure (7). Le cosinus de l'angle que fait ce plan avec l'horizon est exprimé par la formule :

$$\cos^2 j' = \frac{\left[\cot i + \lambda \cot j\right]^2}{\left[\sin d + \lambda \sin (d + \delta)\right]^2 + \left[\cos d + \lambda \cos (d + \delta)\right]^2 + \left[\cot i + \lambda \cot j\right]^2}$$

$$= \frac{(\cos i \sin j + \lambda \sin i \cos j)^2}{\lambda^2 \sin^2 i + 2\lambda (\cos i \cos j + \sin i \sin j \cos \delta) + \sin^2 j},$$

[1] *Parties riches des filons*, p. 122.

ou, en substituant à δ sa valeur (8), et effectuant toutes les réductions :

$$(15) \qquad \cos j' = \frac{\sin i (\sin i \cos j - \cos i \sin j \cos \delta)}{\sqrt{1 - (\cos i \cos j + \sin i \sin j \cos \delta)^2}}.$$

55 — Cette inclinaison peut se redresser jusqu'à la verticale pour :

$$\operatorname{tang} j = \frac{\operatorname{tang} i}{\cos \delta}.$$

C'est le cas où la partie que nous appelons la bonne cannelure aborde le plan du joint suivant la ligne de plus grande pente de ce dernier. En effet, cette droite OC (fig. 21), sa projection OA, et la trace OB du filon raide, forment un trièdre, rectangle suivant OA, dans lequel on a la formule connue :

$$\operatorname{tang} b = \sin c \operatorname{tang} B,$$

c'est-à-dire :

$$\operatorname{tang} i = \sin (90 - \delta) \operatorname{tang} j.$$

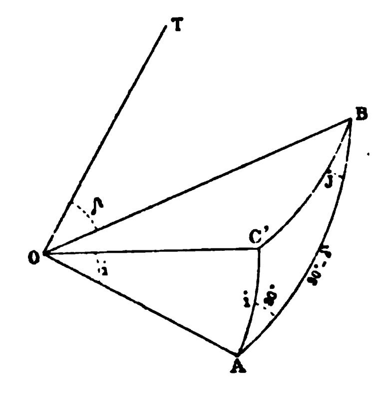


Fig. 21.

On remarquera que les rôles sont alors intervertis au point de vue minéralogique, puisque la cannelure comprise dans la mauvaise couche se trouve encore plus droite que celle qui sort de la bonne couche pour pénétrer dans celle-ci.

Supposons, au contraire, comme dans les discussions précédentes, que le filon se redresse jusqu'à la verticale dans la bonne couche, en faisant $\cos j = 0$. Il vient alors :

$$(16) \qquad \cos j_0' = \frac{\sin i \cos i \cos \delta}{\sqrt{1 - \sin^2 i \cos^2 \delta}}.$$

Si l'on remplace les cosinus de δ et de j_0' en fonction de leurs tan-

gentes respectives, on transformera cette formule en la suivante :

$$(17) \qquad \tang j_0' = \frac{\sqrt{\cos^4 i + \tang^2 \delta}}{\sin i \cos i},$$

que M. Moissenet a établie directement pour le filon vertical.

Envisageons en particulier le filon susceptible de la déviation horizontale maximum. Il est caractérisé par la relation (12), qui donne par sa substitution dans la précédente :

$$(18) \qquad \tang j_1' = \frac{\sqrt{1 + \cos^2 i}}{\sin i}.$$

Les valeurs de cette inclinaison qui correspondent à la variation de celle du terrain, sont comprises dans le tableau suivant :

INCLINAISON DU TERRAIN	INCLINAISON DE LA CANNELURE COUCHÉE SUCCÉDANT A LA CANNELURE VERTICALE DANS LE FILON DE DÉVIATION HORIZONTALE MAXIMA
i	j'_1
10°	82° 56′ 20″
20	75 58 20
30	69 17 40
40	62 57 50
50	57 12 0

§ 4

RELATION DE LA PUISSANCE AU GLISSEMENT

56 — *Glissement en inclinaison.* — Cherchons d'abord à évaluer la puissance que procurera aux parties raides d'un filon un glis-

sement du toit sur le mur des parties couchées, effectué suivant la ligne de plus grande pente.

Désignons à cet effet par u le parcours le long de cette ligne, et par p la puissance correspondante. Elle aura pour valeur :

$$p = u \cos \alpha,$$

si l'on appelle α l'angle compris entre cette ligne de plus grande pente de la cannelure couchée et la normale au plan de la cannelure droite; α est également l'angle dièdre compris entre ce dernier plan et celui qu'on élèverait perpendiculairement à la cannelure couchée, suivant sa propre horizontale. Pour le déterminer, figurons en OB (fig 22), perpendiculairement au plan du tableau OPP'QQ', la direction de la cannelure couchée ; j' marque l'angle compris entre la ligne de plus grande pente OP de ce plan et sa projection horizontale OP'. Le plan auxiliaire OQ qui lui est mené perpendiculairement suivant la même horizontale OB présente donc l'inclinaison complémentaire $90 - j'$. La face BOA du trièdre ABC est située dans ce plan. Traçons de même en OC la direction de la cannelure raide, qui se trouve à gauche de la précédente OB sous l'angle Δ. La face COA est placée dans ce plan. L'intersection de ces deux faces est figurée par OA. Elle forme l'arête du dièdre cherché α.

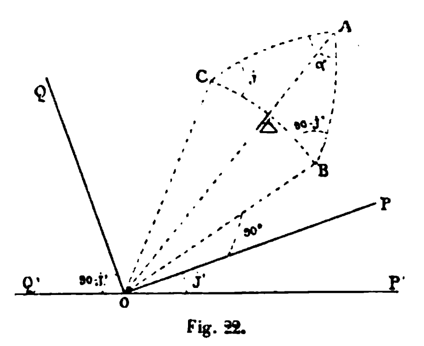


Fig. 22.

Si nous coupons ce trièdre par une sphère, le triangle sphérique ABC fournira la relation connue :

$$\cos A = - \cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a,$$

c'est-à-dire :

$$\cos \alpha = - \cos (90 - j') \cos j + \sin (90 - j') \sin j \cos \Delta,$$

ou enfin :

$$(19)\qquad \frac{p}{u} = \sin j \cos j' \cos \Delta - \cos j \sin j',$$

formule qui résout la question, car il suffira d'y reporter pour Δ et j' leurs valeurs (10) et (15).

57 — Cette substitution se fera numériquement dans chaque cas, et rien n'empêcherait même de l'effectuer ici d'une manière générale. Mais comme les formules seraient compliquées, je me bornerai à transcrire le résultat pour les filons verticaux. La formule (19) se réduit alors à :

$$\cos \alpha_0 = \cos j'_0 \cos \Delta_0.$$

On a, en premier lieu (16) :

$$\cos j'_0 = \frac{\sin i \cos i}{\sqrt{\cos^2 i + \operatorname{tang}^2 \delta}},$$

de même (11) :

$$(20)\qquad \cos^2 \Delta_0 = \frac{1}{1 + \operatorname{tang}^2 \Delta_0} = \frac{(\cos^2 i + \operatorname{tang}^2 \delta)^2}{(\cos^2 i + \operatorname{tang}^2 \delta)^2 + \sin^4 i \operatorname{tang}^2 \delta}.$$

Il s'ensuit donc :

$$\cos^2 \alpha_0 = \frac{\sin^2 i \cos^2 i (\cos^2 i + \operatorname{tang}^2 \delta)}{(\cos^4 i + \operatorname{tang}^2 \delta)(1 + \operatorname{tang}^2 \delta)},$$

c'est-à-dire enfin :

$$(21)\qquad \left(\frac{p}{u}\right)_0 = \sin i \cos i \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i \cos^2 \delta}{\cos^4 i + \operatorname{tang}^2 \delta}}.$$

58 — Si, au lieu de rattacher la puissance p au glissement u effectué suivant la pente, on la rapporte à la *chute* verticale h, il suffira de substituer à u sa valeur :

$$u = \frac{h}{\sin j'},$$

et le rapport deviendra :

$$(22) \qquad \frac{p}{h} = \frac{\cos \alpha}{\sin j'} = \sin j \ \text{cotang}\, j' \cos \Delta - \cos j.$$

Cette formule permettra de prévoir la puissance p que pourrait produire une chute h du toit, ou, inversement, d'apprécier ce qu'a dû être cette dernière, en une ou plusieurs fois s'il y a eu des réouvertures, en effectuant la mesure directe de la puissance p, dans les cas où elle présente une régularité suffisante.

On aura en particulier pour le filon vertical :

$$\left(\frac{p}{h}\right)_0 = \text{cotang}\, j_0' \cos \Delta_0,$$

ou, en substituant les valeurs (17) et (20),

$$(23) \qquad \left(\frac{p}{h}\right)_0 = \sin i \cos i \cos \delta \, \frac{\text{tang}^2 \delta + \cos^2 i}{\text{tang}^2 \delta + \cos^4 i}.$$

59 — *Glissement en direction.* — Supposons, en second lieu, que, sous l'influence de poussées longitudinales, le toit éprouve un rejet horizontal égal à v, suivant la direction des cannelures couchées. Le filon s'ouvre encore dans ses parties raides par ce mouvement, et nous pouvons calculer la puissance q qui prendra ainsi naissance.

Elle aura de même pour valeur :

$$q = v \cos \beta,$$

si β marque l'angle compris entre la direction des parties couchées et la normale des cannelures raides. En adjoignant à ces deux droites OB, OC (fig. 23) la direction OA de ces derniers plans, on construit un trièdre qui donne, par la formule fondamentale de la trigonométrie sphérique :

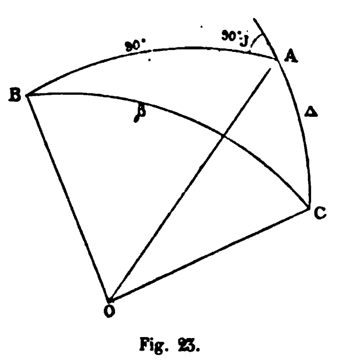


Fig. 23.

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A,$$

c'est-à-dire :

$$\cos \beta = \cos \Delta \cos 90^{\circ} + \sin \Delta \sin 90 \cos (90^{\circ} - j),$$

et enfin :

$$(24) \qquad \frac{q}{v} = \sin \Delta \sin j,$$

dans laquelle on n'aura qu'à substituer pour chaque cas la valeur (10) de Δ.

Je me contenterai encore de faire cette substitution pour l'hypothèse du filon vertical, $\sin j_0 = 1$. Il vient alors (11) :

$$\left(\frac{q}{v}\right)_0 = \sin^2 \Delta_0 = \frac{\operatorname{tang}^2 \Delta_0}{1 + \operatorname{tang}^2 \Delta_0} = \frac{\sin^4 i \operatorname{tang}^2 \delta}{(\operatorname{tang}^2 \delta + \cos^2 i)^2 + \sin^4 i \operatorname{tang}^2 \delta},$$

ou, en réduisant :

$$(25) \qquad \left(\frac{q}{v}\right)_0 = \frac{\sin^2 i \sin \delta}{\sqrt{\cos^4 i + \operatorname{tang}^2 \delta}}.$$

60 — *Glissement oblique.* — En général les deux rejets se produiront à la fois. On en pourra parfois être averti par l'orientation des stries du mur, ou de certains miroirs de filons. Décomposons dans ce cas le glissement oblique w, suivant les directions du nord, de l'est et du zénith, en ξ, η, ζ, qui représenteront les coordonnées de son extrémité. La puissance r sera marquée par la distance de ce point au plan du filon raide représenté par l'équation (2). Elle aura donc pour valeur :

$$r = \frac{\xi \sin (d + \delta) - \eta \cos (d + \delta) + \zeta \operatorname{cotang} j}{\sqrt{\sin^2 (d + \delta) + \cos^2 (d + \delta) + \operatorname{cotang}^2 j}},$$

ou, en réduisant :

$$r = \sin j \left[\xi \sin (d + \delta) - \eta \cos (d + \delta)\right] + \zeta \cos j.$$

On peut par suite écrire, en appelant φ, ψ, χ les angles que font les stries avec les directions coordonnées :

$$(26) \quad \frac{r}{w} = \sin j \left[\cos \varphi \sin (d + \delta) - \cos \psi \cos (d + \delta)\right] + \cos \chi \cos j.$$

On aurait en particulier pour le filon vertical :

$$(27) \quad \left(\frac{r}{w}\right)_0 = \cos \varphi \sin (d + \delta) - \cos \psi \sin (d + \delta).$$

§ 5

MÉTHODE GRAPHIQUE

61 — Les mêmes problèmes peuvent se résoudre par la géométrie descriptive, puisqu'ils se réduisent à des constructions de plans. Il serait inutile de rentrer à cet égard dans des développements aussi étendus. Je me bornerai, comme exemple, à la recherche de la déviation d'un filon vertical, ce qui revient à la détermination graphique de Δ_0 et de j_0'.

Prenons à cet effet un plan vertical XY (fig. 24) perpendiculaire à la direction O*s* de la stratification. Si *i* désigne l'inclinaison du terrain, le parement qui sépare, par exemple, la bonne couche (du mur) de la mauvaise couche (du toit) sera représenté par ses traces *s*OS'. Donnons-nous en O*f* la direction du système de fractures, qui forme un angle connu δ avec celle de la stratification. Dans la bonne couche, le plan de fracture est vertical et représenté par ses traces fOs_1. En passant dans la mauvaise couche, il se dévie et contient alors, d'une part la normale ON du parement, qui formera par suite la trace verticale de la nouvelle cannelure, et, d'autre part, l'intersection de ce parement par le plan précédent fOs_1, laquelle sera le *crochon* des deux cannelures consécutives. Cherchons la trace horizontale de la nouvelle cannelure.

A cet effet, menons un plan de front *xy*. Il coupe le crochon en un point projeté horizontalement en *f*, car tout ce que renferme

la cannelure verticale fOs_1 est projeté sur sa trace horizontale Of. La projection verticale de ce point se trouve en f', puisque tout ce qui est situé dans le parement sOS', perpendiculaire au plan vertical, se projette sur sa trace verticale OS_1'. Mais, du reste, le plan xy coupe nécessairement la cannelure inclinée suivant une parallèle à son intersection ON par le plan parallèle XY. La trace de cette cannelure sur le plan de front sera donc $f'n'$. Or cette droite perce le plan horizontal en un point, qui doit être projeté verticalement

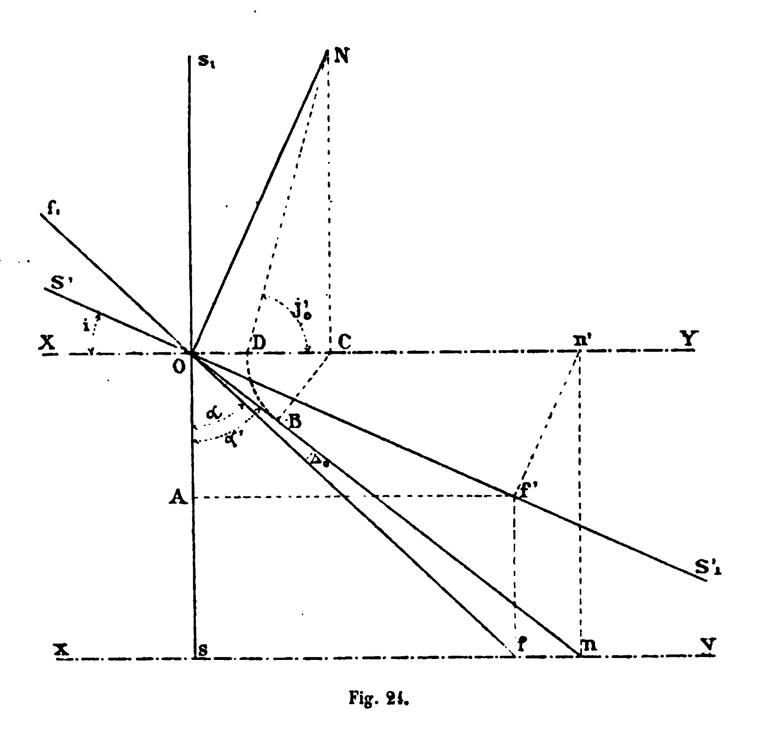


Fig. 24.

sur la ligne de terre XY. Cette projection se trouve par suite en n'. La véritable situation de cette intersection sera d'ailleurs en n, puisqu'elle doit se trouver sur la droite xy, le long de laquelle se projette sur le plan horizontal tout ce que renferme le plan de front. Ayant donc en n la trace horizontale du crochon, c'est-à-dire un second point de la trace horizontale de la seconde cannelure, nous obtiendrons enfin cette dernière en joignant On.

En résumé, la fracture traverse la bonne couche, inférieure au parement sOS', suivant la cannelure verticale fOs_1, et se dévie dans la mauvaise couche, supérieure à ce parement, suivant la cannelure inclinée nON. La déviation Δ_0 de la direction sera donc fournie par l'angle fOn. Quant à l'inclinaison de la mauvaise cannelure NOn, on l'obtient, à l'aide de la construction ordinaire, en NDY.

CHAPITRE IV

PASSAGE DES REJETS

—

§ 1

INDICES LOCAUX

62 — *Accidents.* — Nous avons étudié dans le chapitre II les circonstances qui ont provoqué la naissance des fractures de l'écorce terrestre, et amené la minéralisation de quelques-unes d'entre elles. Nous avons maintenant à examiner en détail les dérangements, qu'après leur formation, les gîtes ont pu éprouver en raison des mouvements ultérieurs, et qui sont souvent pour l'ingénieur la source des plus graves difficultés.

Parfois le phénomène mécanique de la rupture a consisté en un simple décollement des deux parties, qui sont restées en regard l'une de l'autre. Dans d'autres cas, au contraire, il s'est opéré un mouvement relatif du toit et du mur. A cet égard, M. Daubrée [1], en confondant toutes ces causes sous l'appellation générale de *lithoclases*, désigne les premières sous le nom de *diaclases* et affecte aux autres l'expression de *paraclases*.

Dans ce dernier cas, le mineur qui arrive devant le plan de la faille sans avoir jusque-là quitté le gîte, guidé par sa continuité, rencontre devant lui tout autre chose, et se trouve en présence de l'inconnu sans savoir par où rejoindre le prolongement de la veine. Cette circonstance a beaucoup exercé la sagacité des anciens mineurs. On peut juger, par l'inspection des travaux qu'ils ont laissés, qu'ils

[1] *Études synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 351

étaient souvent d'une grande habileté pour *passer les rejets*. Aujourd'hui, la question s'éclaire de vues rationnelles, fondées sur les aperçus que nous possédons quant à la nature des causes de ces accidents. Ce sont ces lois que nous avons à faire connaître, ainsi que les méthodes qui en dérivent, pour guider la recherche.

63 — La cinématique enseigne que le mouvement le plus général d'une figure plane dans son plan peut toujours être réalisé au moyen d'une simple rotation autour d'un point du plan. On observe en effet assez fréquemment que le déplacement a été accompagné d'une désorientation dans le plan de la faille, en un mot, qu'il a été rotatif. On dit alors que *le rejet s'ouvre*, et l'on arrive assez facilement à en déterminer la charnière.

Mais, dans la plupart des cas, en raison de l'immense étendue qu'affectent ces phénomènes, le centre de la rotation se trouve reporté assez loin de la région occupée par les travaux, pour que le mouvement puisse être assimilé à une translation.

On sait, en second lieu, par les théories de la cinématique, qu'une translation quelconque peut toujours être décomposée, à l'aide d'un parallélogramme, en deux autres dirigées suivant deux droites arbitrairement choisies. Nous adopterons pour cette décomposition la direction et l'inclinaison de la faille, ou du *croiseur*. Dès lors, au lieu d'un accident unique, on se représente le phénomène comme la combinaison de deux dérangements distincts, que l'on appelle : le *rejet horizontal* et le *rejet en profondeur*.

Chacun de ces modes peut exister isolément, mais ils se trouvent en général associés, et leur réunion indique une translation oblique, souvent mise en évidence, comme nous l'avons déjà dit (n° 60), par les stries des surfaces de glissement. L'un et l'autre de ces deux rejets occasionnent un déplacement qu'il faut racheter par un raccordement convenable des travaux. Mais il existe entre eux à cet égard une très grande différence.

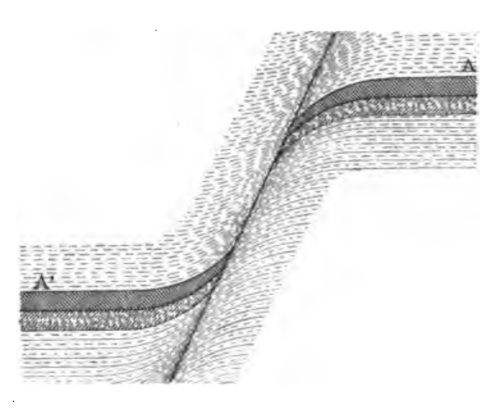
Le rejet horizontal, quand même il aurait reporté fort loin le prolongement du gîte, nécessiterait tout au plus, pour le rejoindre, des galeries de niveau plus ou moins longues. Ce sera une gêne, mais non une perturbation fondamentale de l'aménagement général.

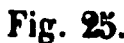
Aussi ce genre d'accident est-il d'ordinaire relégué au second plan, et l'on se préoccupe bien plus du rejet en profondeur.

Celui-ci, en effet, en modifiant les niveaux, les étages, la profondeur et l'armement des puits, présente beaucoup plus de gravité. On rencontre, à cet égard, dans la nature tous les degrés d'importance, depuis des dérangements insignifiants jusqu'à des rejets de plusieurs centaines de mètres estimés suivant la verticale.

Lorsque les travaux viennent buter dans un croiseur qui a rejeté le gîte suivant l'inclinaison, l'ingénieur est amené à se demander s'il doit monter ou descendre dans la faille, pour retrouver le prolongement. Nous pouvons indiquer dès à présent deux circonstances, dans lesquelles un examen attentif permettra d'écarter immédiatement toute incertitude.

64 — *Rebroussement des feuillets.* — Parfois l'accident a eu lieu à une époque où la formation présentait encore une certaine plasticité. Il s'en est suivi un étirage des couches dans le plan de la faille, dont l'observation indique nettement de quel côté a été




Fig. 25.

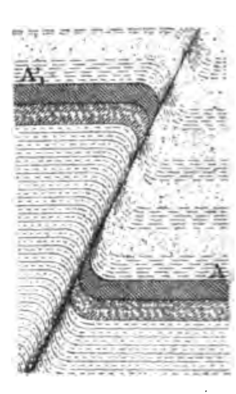


Fig. 26.

entraînée la partie absente. Il n'y a pas besoin, du reste, que cette inflexion s'observe sur une grande étendue. La plus petite longueur de la partie courbe, pourvu qu'elle soit nettement accusée, suffit pour décider à cet égard.

Il est clair, par exemple, à l'inspection de la courbure (fig. 25), que le mineur qui arrive par le mur A de la faille, doit y descendre pour retrouver la suite A' de la couche, à une distance qui reste d'ailleurs inconnue. Au contraire, avec la disposition de la figure 26, c'est en arrivant par le toit A'_1 de la faille, que l'on doit y descendre pour rejoindre le gîte en A_1.

65 — *Ordre de stratification.* — Dans d'autres circonstances, c'est la composition minéralogique de la face opposée de la faille qui peut fournir des indices certains.

Supposons, en premier lieu, que le mineur qui arrive par A (fig. 27) trouve devant lui en B' un banc, qu'il reconnaît à coup sûr pour être le prolongement d'un autre, B, déjà reconnu par les travaux antérieurs au-dessus de A, et de plus à une distance connue; ce qui renseigne plus complètement encore que dans le cas précédent. Il devient indubitable, par cela seul, que l'on retrouvera le prolongement A' de la couche, en *descendant* d'une hauteur égale. Dans ces conditions on dit que le mineur *arrive par le mur de la faille*, ou qu'il *a la faille sur sa tête* et qu'il rencontre un *rejet en bas*.

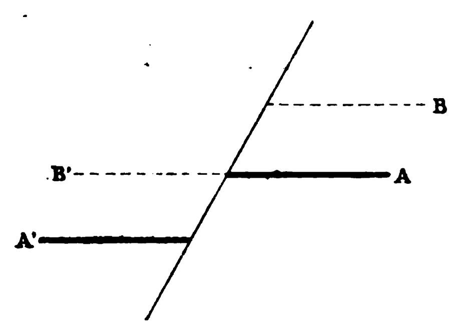


Fig. 27.

Si, au contraire, dans la même formation, le mineur arrive par B', reconnaissant en face de lui en A le prolongement d'une couche qu'il sait exister au-dessous de lui en A', il devra *monter* d'une quantité égale à la hauteur A'B' pour rejoindre le prolongement B de B'. On dit alors qu'il *arrive par le toit de la faille*, qu'il *a la faille sous ses pieds* et qu'il trouve un *rejet en haut*.

C'est pourtant toujours le même rejet, et, par suite, on voit que ces expressions, fort claires en elles-mêmes, ne visent pas seulement

le phénomène géologique, qu'elles caractérisent de deux façons opposées, mais, en même temps que lui, la manière dont l'ingénieur s'y dirige et qui motive cette variabilité dans le jugement porté.

Comme il est bon, cependant, d'avoir en même temps une expression qui serve à désigner ce qu'il y a d'absolu dans cette disposition, pour la différencier de la disposition contraire qui est représentée sur la figure 28, on a coutume, dans le cas actuel, de dire que *le toit de la faille est descendu sur le mur*. Ceci même demande à être entendu dans son vrai sens. On n'affirme pas par là que ce n'est pas le mur qui, par des pressions convenables, serait remonté sous le toit, par un mécanisme d'ailleurs moins facile à concevoir. Les repères fixes de cotes d'altitude manqueraient même pour définir de pareils mouvements absolus, et l'on n'aurait aucune manière d'être renseigné à leur égard. En outre, ils ne présentent par eux-mêmes aucune espèce d'intérêt. C'est seulement le déplacement relatif qu'il est pour le mineur essentiel de connaître, et l'on convient pour le caractériser, comme cela a été expliqué dans une autre circonstance (N° 26), de fixer par la pensée le mur, en attribuant au toit tous les mouvements, quels qu'ils soient.

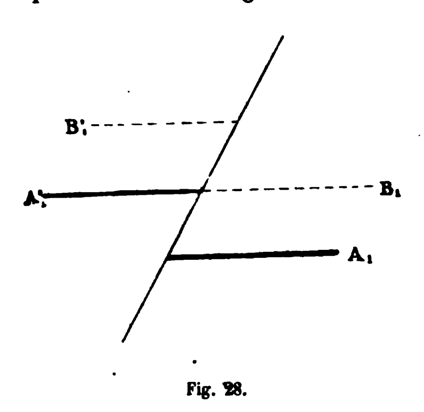


Fig. 28.

66 — Supposons, en second lieu, les conditions de la figure 28. Le mineur qui arrive par A'_1, reconnaissant B_1 pour une formation qu'il sait lui être supérieure en B'_1, doit *descendre* pour rejoindre A_1. Il *arrive par le toit de la faille* et il l'a *sous les pieds* comme dans le dernier cas, mais il trouve maintenant un *rejet en bas*, et non plus en haut.

S'il arrive par B_1, trouvant en face de lui la couche A'_1 qu'il sait lui être inférieure en A_1, il *montera* pour retrouver B'_1. Il *arrive*

par le mur, et *a la faille sur la tête*, comme dans le premier des trois cas précédents, mais il rencontre un *rejet en haut*, et non plus en bas.

Dans les deux cas encore, c'est le même rejet, si on l'envisage en lui-même, et on le caractérise en disant que *le toit est remonté sur le mur*.

§ 2

RÈGLE DE SCHMIDT

67 — *Règle de Schmidt*. — Dans les deux circonstances précédentes (64, 65, 66) nous opérons à coup sûr. En l'absence de ces indices positifs, on doit se contenter de s'appuyer sur les prévisions les plus probables.

Je ferai remarquer, en premier lieu, que, dans le cas où l'exploitation d'un district dure déjà depuis un certain temps, et qu'on y a reconnu dans tous les rejets une même manière d'être, cela crée pour le nouvel accident rencontré une probabilité presque équivalente à une certitude [1]. On comprend, en effet, que, des mouvements d'ensemble ayant affecté le terrain dans une certaine étendue, la disposition reconnue sur certains points a des chances d'être encore, dans le voisinage la résultante du phénomène, quoique le contraire soit, à la rigueur, possible, sous l'influence de circonstances de détail.

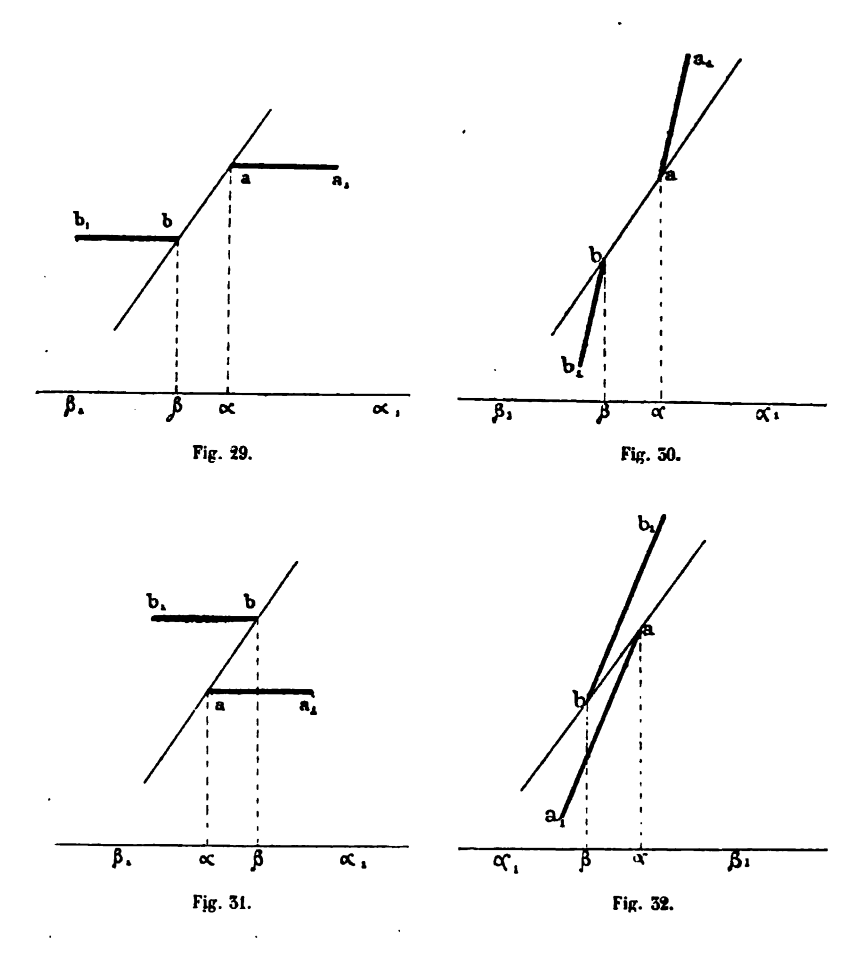
68 — Mais supposons enfin qu'il s'agisse d'un accident sur lequel on ne possède à priori aucune espèce de données spéciales. On en est alors réduit à invoquer le résultat fourni par l'expérience la plus générale des mineurs. Il est formulé dans un énoncé connu sous le nom de *règle de Schmidt* et qui consiste en ce que, *dans la très grande majorité des cas, c'est le toit de la fente qui est descendu*

[1] Il arrive, par exemple, dans certains districts du Gard, que tous les rejets à la fois se trouvent disposés contrairement à la règle de Schmidt, que nous allons faire connaître comme constituant, cependant, le cas le plus ordinaire.

sur le mur. C'est bien d'ailleurs (N° 27) le mode le plus naturel à concevoir, quand la pesanteur a eu l'action prépondérante dans ses antagonismes avec les renvois de pression.

Il résulte immédiatement de là diverses conséquences géométriques de nature à jouer un rôle dans les recherches.

En premier lieu, si la règle de Schmidt est observée comme dans la figure 29, ou intervertie comme sur la figure 30, on voit, qu'en



projection sur un plan horizontal, la matière utile recouvrira les espaces $\alpha\alpha_1$ et $\beta\beta_1$, mais non l'intervalle $\alpha\beta$. Il pourrait donc arriver qu'un sondage, ou le foncement d'un puits de recherche, passât

dans cette *zone stérile* produite par le rejet. On serait alors conduit à affirmer l'absence du gîte, et cependant il existe.

Si, au contraire, l'accident a eu lieu contrairement à la règle de Schmidt comme sur la figure 31, ou conformément à cette règle (fig. 32), on voit, qu'en projection horizontale, la matière exploitable recouvre les étendues $\alpha\beta_1$ et $\beta\alpha_1$, et, en outre, deux fois l'intervalle $\alpha\beta$. Si donc un trou de sonde se trouve percé précisément dans ce *redoublement* créé par le rejet, on pourra croire à l'existence de deux couches, tandis qu'il n'en existe qu'une seule.

Le passage de l'un de ces cas à l'autre correspond à la situation verticale du gîte, pour laquelle les projections horizontales cessent d'exister.

69 — *Règle de l'angle obtus.* — On a quelquefois appelé la formule de Schmidt : règle de l'angle obtus. Mais cette expression doit être écartée, comme capable d'induire en erreur.

Le motif qui l'a fait introduire consiste en ce que, si la règle est observée, comme sur la figure 29, quand on arrive par a_1, il faut se diriger par l'angle *obtus* a_1ab pour rejoindre le gîte b. De même si les travaux se présentent du côté b_1, il faut encore prendre l'angle *obtus* b_1ba. Si, au contraire, la règle est intervertie comme sur la figure 31, les angles qu'il convient de suivre, a_1ab ou b_1ba, sont aigus ; et, si l'on prenait dans ce cas les angles obtus qui en sont les suppléments, on s'égarerait dans la faille, en s'éloignant du prolongement cherché, au lieu de le rejoindre. On transformait d'après cela l'énoncé de Schmidt en disant que *c'est, dans la très grande majorité des cas, par l'angle obtus qu'il convient de se diriger dans la faille pour passer un rejet en inclinaison.*

Faisons remarquer avant tout que cette règle se rapporte exclusivement au rejet en profondeur, et ne concerne en rien le rejet horizontal pour lequel il n'existe aucune relation nécessaire. Mais, même en le restreignant à son véritable domaine, cet énoncé n'en est pas moins incorrect.

Supposons, en effet, pour plus de simplicité, que le gîte et le croiseur, inclinés tous les deux sur l'horizon, aient la même direc-

tion perpendiculaire au plan du tableau. Si le toit est vraiment descendu sur le mur de la faille, il pourra encore arriver (fig. 33) qu'il faille cheminer par les angles obtus a_1ab et b_1ba. Mais il sera de même possible (fig. 34) que l'on ait, au contraire, à prendre les angles aigus $a_1'a'b'$ et $b_1'b'a'$.

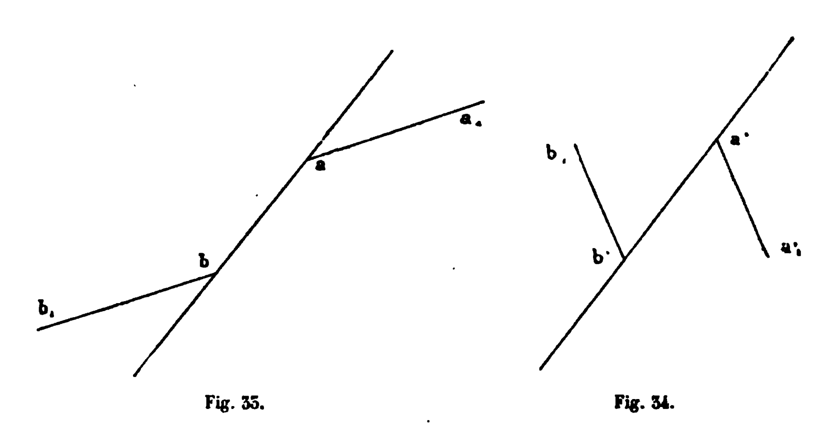


Fig. 33. Fig. 34.

Le passage d'un type à l'autre correspond au cas où les deux plans sont rectangulaires, pour lequel la règle reste indécise, sans être encore tombée dans la fausseté.

70 — *Faux rejets.* — Dans ce domaine de la probabilité, l'on a d'abord contre soi, en suivant aveuglément la règle de Schmidt, la chance que le dérangement ait eu lieu contrairement à cette règle. Mais il faut, en outre, signaler certaines circonstances exceptionnelles qui seront propres à faire illusion. On les appelle *faux rejets*, et ils ne présentent, d'un semblable cran, que l'apparence.

Supposons, en effet, qu'une première cassure PP' (fig. 35) se soit produite sans que ses parois aient été ressoudées. Si une nouvelle tendance à la rupture vient à naître sous l'influence de forces peu différentes, il se produira encore une disjonction suivant un plan faiblement incliné sur le précédent. Mais il pourra arriver, sans qu'il se produise d'ailleurs aucun glissement capable d'effectuer un rejet des parois, que, le massif de droite se fendant suivant QQ_1, celui de gauche se brise suivant un plan $Q'Q_1'$, un peu différent

du premier, la diaclase *se traînant* sur une certaine longueur QQ' dans le plan de la faille, qui forme une surface de moindre résistance plus avantageuse que le prolongement direct.

L'observateur qui se trouve en présence de ces résultats, sans qu'aucune raison spéciale y éveille son attention, sera amené à penser que, comme dans la figure 35, la faille QQ_1' est la plus ancienne des deux, et qu'elle a été recoupée et rejetée par le croiseur PP' à une époque postérieure. C'est, au contraire, PP' qui est le

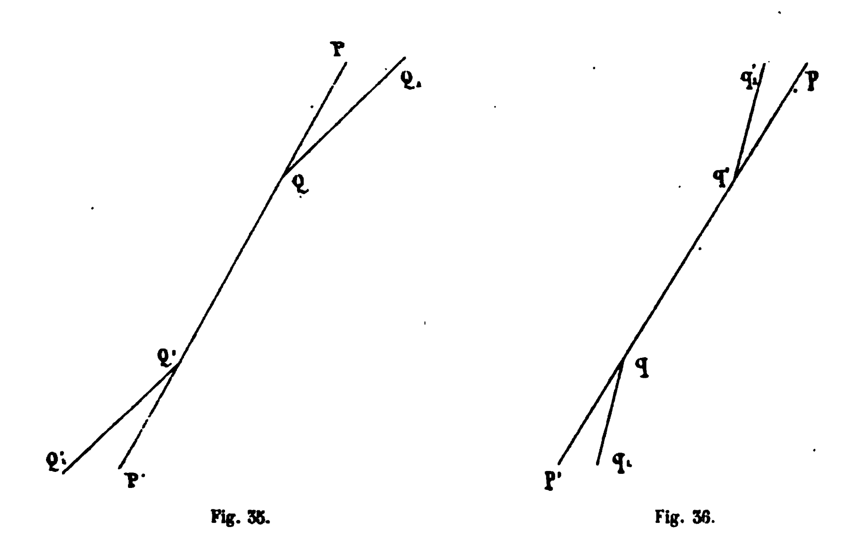


Fig. 35. Fig. 36.

premier en date, et il n'y a eu aucun rejet dans l'ensemble du phénomène.

Ajoutons que cette fausse apparence pourra se produire, soit comme sur la figure 35, en simulant un rejet conforme à la règle de Schmidt, soit au contraire (fig. 36) de manière à faire croire à l'inversion de cette règle. L'on n'aura plus d'ailleurs entre ces deux cas la disproportion de probabilités, qui était inhérente à des mouvements étrangers au phénomène actuel.

71 — Une erreur d'un autre genre peut se produire, quand *le filon est intercepté.* On entend par là (n° 27), qu'après une première fracture non ressoudée, il s'est produit une seconde fente qui a

été minéralisée en donnant naissance à un filon. Seulement, les deux massifs n'ayant plus de solidarité, et les forces se trouvant vers les limites de leur sphère d'efficacité relative à la ténacité de la roche, il est arrivé que, l'une de ces masses s'étant laissée rompre, la seconde a pu résister et rester intacte.

L'ingénieur, que rien n'amène à soupçonner cette circonstance, ne trouvant plus en face de lui la suite de la fracture qu'il suit pas à pas, croira encore à un rejet, et fera de vains efforts pour retrouver un prolongement qui n'existe nulle part.

72 — Je citerai enfin une troisième circonstance qui est de nature à donner lieu à des interprétations inexactes. C'est le principe des ***réouvertures***.

Supposons qu'une première cassure s'effectue suivant un plan,

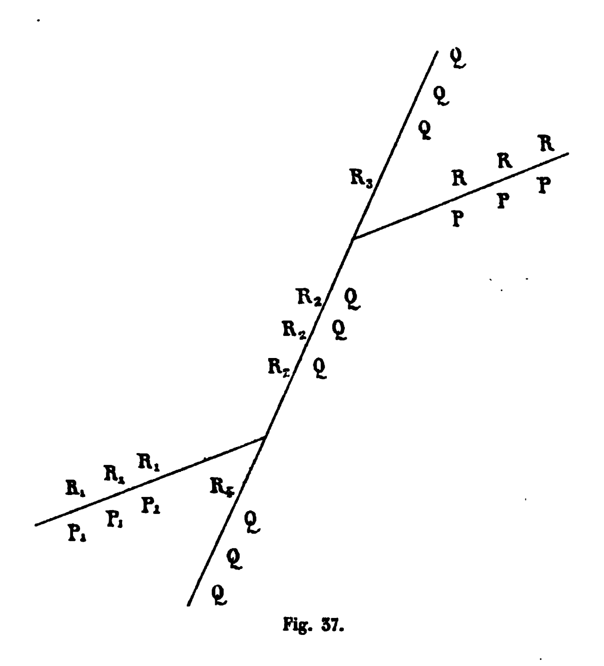


Fig. 37.

alors unique, quoique représenté en deux parties P,P_1 sur la figure 37 qui retrace l'état définitif. Une injection de matière *stérile* en a ensuite ressoudé les deux parois. Ultérieurement, une

faille Q vient à se produire, avec rejet du filon stérile de PP en P_1P_1. Enfin de nouvelles tensions, plus rapprochées des anciennes conditions que de ces dernières, venant à se reproduire, elles ont pour résultat de décoller la soudure imparfaite, et d'opérer une réouverture de la première fracture. Ses deux parties R et R_1 ne se rejoignant plus directement, la disjonction se traîne entre les deux dans la faille Q suivant R_2. En outre, aux changements de direction, il se produit quelques éclatements secondaires à de faibles distances de PP en R_3 et de P_1P_1 en R_4. La minéralisation qui survient alors, imprègne tout cet ensemble $RR_1R_2R_3R_4$ et le transforme en un filon exploitable.

En présence de semblables dispositions, on admettait toujours autrefois cette explication inexacte : 1° une fracture P suivant un plan unique, avec minéralisation R; 2° une seconde cassure Q, rejetant brusquement ce filon du prolongement de PR en P_1R_1; 3° des phénomènes lents de transports électro-chimiques, amenant la matière utile de R et de R_1 dans l'intervalle R_2, ainsi que dans les portions voisines R_3 et R_4 du croiseur.

On voit combien le véritable mécanisme a été différent et plus simple à concevoir. Il convient de remarquer d'ailleurs que, à l'inverse de ce qui a lieu dans les deux cas précédents, il y a eu véritablement ici un rejet, et que, par conséquent, la règle de Schmidt gardera pour son interprétation toute sa valeur.

§ 3

MÉTHODE GRAPHIQUE

72 — Les indications précédentes permettent seulement de se renseigner sur le sens du rejet en inclinaison sans rien préjuger du rejet horizontal. De plus, nous avons raisonné comme si l'exploitant, pour pousser ses galeries, n'avait d'autre alternative que de monter ou de descendre suivant la ligne de plus grande pente de la faille.

Il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi. On peut, sans quitter

la faille, y suivre bien des chemins différents pour rejoindre le gîte. Il peut, en outre, y avoir avantage, ou même nécessité, à quitter au plus vite cette faille, si elle est dangereuse et capable de donner des éboulements, de l'eau, du gaz, etc. Il reste donc une discussion à faire entre les directions et les longueurs comparatives des divers cheminements que l'on peut exécuter, pour choisir parmi eux le plus favorable.

Il existe à cet égard deux procédés distincts : une marche graphique ou la méthode trigonométrique.

74 — Représentons en PQ (fig. 38), la trace de la faille sur le plan horizontal. Pp et Qq marqueront les traces horizontales, parallèles entre elles, des deux portions du gisement, limitées l'une et l'autre à cette faille, sur chacune de ses deux faces : PQ représente l'étendue du rejet horizontal. C'est une inconnue, que nous figurons sur l'épure par une longueur arbitraire, à laquelle toutes les autres resteront évidemment proportionnelles. On n'a en effet à déterminer ici que des angles et des rapports de longueurs. En arrivant par la galerie de direction pP à la rencontre de la faille, on peut mesurer l'inclinaison α du filon, celle β de la faille et l'angle γ de leurs deux directions. Nous pouvons d'après cela construire l'intersection ou *crochon* de ces deux plans.

A cet effet, faisons une coupe par le plan vertical pp' mené suivant la ligne de plus grande pente du filon, et rabattons cette ligne avec ce plan autour de pp' comme charnière. Elle viendra en pp'' sous l'angle $p''pp'=\alpha$. Traçons en outre arbitrairement $p'p''$ parallèle à Pp; ce sera la projection horizontale de la trace du filon sur un plan horizontal mené à une profondeur $p'p''$ au-dessous du plan de projection. Portons cette même longueur en $rr'''=p'p''$. Élevons $r'''r''$ perpendiculaire à PQ jusqu'à la rencontre de la droite rr'' qui fait avec rr', également perpendiculaire à PQ, l'angle $r'rr''=\beta$. Enfin, par r'', menons la droite $r''r'$ parallèle à PQ. Le triangle $rr'r''$ nous représentera de même le rabattement autour de la charnière rr', de la coupe verticale menée en r perpendiculairement à la faille, suivant sa ligne de plus grande pente; et comme $r'r''=rr'''=p'p''$, la droite $r'r''$ sera

la trace de la faille sur le même plan horizontal auxiliaire. Les deux droites $p'p''$ et $r'r''$ qui se coupent en M appartenant dans ce même plan, l'une au filon, l'autre à la faille, nous obtiendrons en M

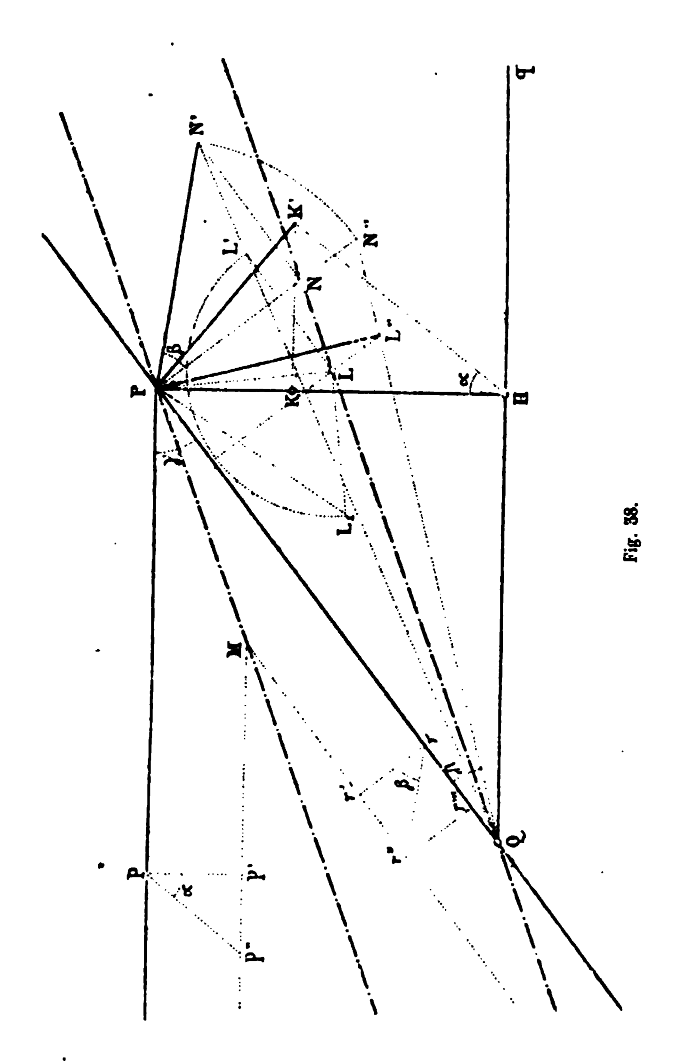


Fig. 38.

un point de l'intersection de ces deux plans, et PM représentera la projection horizontale de cette intersection.

Comme, du reste, la seconde partie du filon forme en Qq un plan parallèle, son intersection par le plan de la faille sera elle-

même parallèle à la précédente, et aura pour projection la droite QN parallèle à PM.

Il est facile de voir que la figure a été disposée conformément à la règle de Schmidt; que nous devons admettre *a priori* pour la disposition inconnue du rejet. En effet, P*r* étant une horizontale supérieure, et M*r'* une horizontale inférieure de la faille, le pendage de celle-ci est de *r* vers *r'*. En P*p* on a donc la faille sous les pieds, et en Q*q* on l'a sur la tête. La partie du filon limitée à PM se trouve ainsi dans le toit de la faille et celle qui se termine sur QN est située dans son mur. Or, si nous laissons par la pensée, suivant la convention établie ci-dessus (N° 65), le mur immobile, et que nous remettions en mouvement le toit de la faille, pour ressouder les deux portions du filon en ramenant PM sur QN, nous aurons à faire mouvoir P suivant la ligne de pente projetée en PN perpendiculairement à PQ, *en remontant*, puisque le pendage de la faille est de *r* vers *r'*. Donc pour opérer le rejet, le toit est *descendu* sur le mur, conformément à la règle de Schmidt.

Les éléments du rejet étant ainsi représentés, nous pouvons maintenant essayer sur la figure 38 tous les modes de cheminement qu'il paraîtra intéressant d'essayer. Je me bornerai ici à envisager les cinq modes suivants, qui se présentent les premiers à la pensée.

75 — Supposons d'abord que l'on veuille cheminer sans quitter la faille. Une première manière consiste à s'y mouvoir de niveau, en restant dans le plan horizontal de la galerie d'arrivée *p*P. Cet ouvrage sera représenté en vraie grandeur par PQ [1].

On peut, en second lieu, cheminer suivant la plus grande pente de la faille. La projection de l'ouvrage sera PN, perpendiculaire à la trace horizontale PQ. Cette galerie rencontre en N la trace QN du filon sur le plan de la faille. Pour en obtenir la vraie grandeur, rabattons latéralement autour de PN le triangle rectangle déterminé

[1] Sur la figure 38, on a marqué par des traits pleins la *vraie longueur* des ouvrages PQ, PN', PL'', PH, PK', et par des points ronds Q, N, L, H, K, les extrémités de leurs projections horizontales, c'est-à-dire la projection du point où ils rejoignent la masse rejetée.

par ce plan vertical. Il suffira pour cela de reproduire en NPN′ l'angle β d'inclinaison de la faille, jusqu'à la rencontre de la verticale NN′ perpendiculaire à PN. L'hypoténuse PN′ fournira la vraie longueur du montage.

On peut enfin chercher à se mouvoir dans la faille par le plus court chemin. A cet effet, nous commencerons par rabattre sur le plan horizontal celui de cette faille, autour de sa trace PQ. Dans ce mouvement, le point N′, projeté en N, décrit un cercle projeté sur PN, et se rabat en N″, à une distance de la charnière PN″ = PN′. On aura ainsi en QN″ le rabattement de l'intersection de la faille et de la partie rejetée du filon. Si donc, du point P, on abaisse sur cette intersection la perpendiculaire PL″, elle fera connaître la voie la plus courte pour atteindre ce filon en restant dans la faille. Relevons maintenant le plan de cette dernière; le point L″ décrira un cercle projeté sur la perpendiculaire L″L abaissée de L″ sur la charnière PQ, et se replacera en L sur la projection QN de QN″ relevée.

Il reste à connaître l'inclinaison de cette *galerie en demi-pente*. Concevons pour cela le triangle rectangle qu'elle forme avec sa projection PL, et rabattons-le autour de PL comme charnière, en LPL_1. Il suffira pour cela de connaître la hauteur LL_1 de L″ au-dessus de L, après son relèvement. Or cette altitude forme évidemment, avec celle NN′ de N″ au-dessus de N, une quatrième proportionnelle, dont les deux autres termes sont QN et QL. Nous la construirons au moyen de la droite LL′ menée parallèlement à NN′, et fournissant les triangles semblables QLL′, QNN′. Il suffit ensuite de ramener LL′ en LL_1, au moyen d'un arc de cercle; L_1PL sera l'angle cherché.

Si maintenant on abandonne le plan de la faille pour se mouvoir en plein massif, on peut d'abord se proposer de cheminer horizontalement par le plus court. Cette voie sera évidemment représentée en vraie grandeur par la perpendiculaire PH, abaissée sur la trace Q*q* du filon. PH fournira le minimum des chemins horizontaux, de même que PL″ formait le minimum des voies tracées dans la faille.

On peut enfin chercher le minimum minimorum, qui sera donné par la perpendiculaire abaissée de P sur le plan rejeté. D'après le théorème des trois perpendiculaires, si, du pied inconnu K′ de

cette perpendiculaire dans l'espace, nous en abaissions une seconde K'H, dans le plan rejeté, sur sa trace Qq, en joignant P au pied H de cette dernière perpendiculaire, PH serait elle-même normale sur cette trace Qq. D'après cela, ayant déjà mené tout à l'heure PH perpendiculaire sur Qq, si nous rabattons autour de cette charnière le triangle rectangle qui a pour angle $PHK' = \alpha$, inclinaison connue du filon sur le plan horizontal, HK' sera le rabattement de l'intersection du filon par le plan auxiliaire PH, et, en y abaissant la perpendiculaire PK', nous obtiendrons le chemin minimum absolu. Quant à son extrémité, elle se projette au point K, que nous obtenons en relevant ce plan suivant K'K, perpendiculaire à la charnière.

Ici se place une remarque essentielle. Il pourra arriver que cette solution doive être rejetée, si le point K tombe dans la région où se projette la partie virtuelle du plan Qq, et non dans la portion de ce plan minéralisée par le lambeau du filon qu'il renferme. En effet, dans le premier cas, aucun caractère ne viendrait avertir le mineur qu'il traverse le plan cherché. Il y aura donc à faire cet examen dans chaque cas. C'est précisément ce qui arrive avec la figure actuelle, car le point K tombe au delà de QN, hors de la région dans laquelle se trouve la galerie Qq qui est pratiquée en plein filon rejeté.

§ 4

MÉTHODE TRIGONOMÉTRIQUE

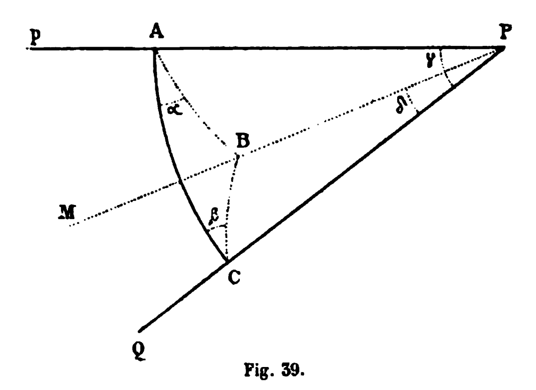


Fig. 39.

76 — Les renseignements que nous a fournis l'épure précédente peuvent également se déduire du calcul.

Envisageons à cet effet (fig. 38) le trièdre formé autour du point P, par le plan horizon-

tal, celui du filon, et celui de la faille. Reproduisons-le à part sur la figure 39, et décrivons autour de son sommet une sphère avec l'unité de longueur pour rayon. Elle coupera les faces du trièdre suivant les côtés d'un triangle sphérique ABC, dont nous connaissons les trois éléments :

$$A = \alpha, \qquad C = \beta, \qquad b = \gamma,$$

c'est-à-dire l'angle dièdre α du filon et du plan horizontal, celui β de la faille et de ce même plan horizontal, et enfin l'angle γ des directions des deux plans inclinés.

Nous commencerons par en déduire l'inconnue :

$$a = \delta,$$

qui représente l'angle compris dans le plan de la faille, entre ses deux intersections par le plan horizontal et celui du filon. On a pour cela la relation connue :

$$\text{cotang } a \sin b - \text{cotang } A \sin C = \cos b \cos C,$$

c'est-à-dire :

$$\text{cotang } \delta \sin \gamma - \text{cotang } \alpha \sin \beta = \cos \gamma \cos \beta,$$

d'où l'on déduit :

$$\text{cotang } \delta = \frac{\text{cotang } \alpha \sin \beta + \cos \gamma \cos \beta}{\sin \gamma}.$$

Pour rendre cette formule calculable par logarithmes, on la mettra sous la forme :

$$\text{cotang } \delta = \frac{\text{cotang } \alpha}{\sin \gamma} (\sin \beta + \text{tang } \alpha \cos \beta \cos \gamma).$$

En prenant comme angle auxiliaire :

(1) $$\text{tang } \varphi = \text{tang } \alpha \cos \gamma$$

on pourra écrire .

$$\text{cotang } \delta = \frac{\text{cotang } \alpha}{\sin \gamma \cos \varphi} (\sin \beta \cos \varphi + \cos \beta \sin \varphi),$$

enfin :

$$(2) \qquad \text{cotang } \delta = \frac{\sin (\beta + \varphi)}{\sin \gamma \cos \varphi \text{ tang } \alpha}.$$

Les équations (1) et (2) feront ainsi connaître δ, par l'intermédiaire de l'angle φ, en fonction de α, β, γ.

Cela posé, si l'on prend pour unité (fig. 38) le chemin horizontal dans la faille,

$$PQ = 1,$$

on aura :

1° Pour le montage minimum dans la faille, d'après le triangle rectangle PL″Q,

$$PL'' = PQ . \sin PQL'' = \sin \delta ;$$

2° Pour le chemin en inclinaison dans la faille, par le triangle rectangle PL″N″,

$$PN' = PN'' = \frac{PL''}{\cos L''PN''} = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \text{tang } \delta ;$$

3° Pour la galerie horizontale minima, dans le triangle rectangle PHQ,

$$PH = PQ \sin PQH = \sin \gamma ;$$

4° Enfin, pour le chemin minimum absolu, par le triangle rectangle PK′H,

$$PK' = PH \sin PHK' = \sin \gamma \sin \alpha.$$

CHAPITRE V

PROCÉDÉ DU SONDAGE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS

77 — Nous avons distingué, dans la recherche des gîtes minéraux, deux cas fondamentaux, suivant que la masse affleure au jour, ou que, complètement dissimulée sous des terrains de recouvrement, elle ne peut être atteinte que par le sondage. Nous consacrerons ce chapitre à la description de cette opération envisagée en elle-même, en réservant pour le chapitre suivant l'étude de ses nombreuses applications.

Le problème consiste à pratiquer dans le sol un *trou de sonde*, affectant la forme d'un cylindre vertical de révolution. Il se remplira tout naturellement d'eau, et l'on ne doit voir là qu'une circonstance favorable pour plusieurs motifs. L'eau, en effet, rafraîchit les outils, que le choc tendrait à échauffer, en rendant les tranchants plus faciles à émousser. Elle délaye la roche quand sa nature s'y prête, ce qui vient en aide aux moyens d'attaque. Elle transforme les matières broyées en une sorte de bouillie liquide, plus facile à recueillir dans la cloche de curage. Elle allège, d'après le principe d'Archimède, le poids des tiges. Enfin elle fournit un point d'appui pour l'emploi des parachutes, en cas d'accident.

78 — Le diamètre du trou de sonde varie entre des limites assez éloignées. On employait autrefois des outils très étroits, sous pré-

texte d'économiser la désagrégation. Mais c'était un faux point de vue, car on augmentait ainsi les chances d'obstruction, en diminuant en même temps les ressources qu'une plus large section peut offrir pour réparer les accidents, causes de grandes dépenses et parfois de l'abandon de l'opération. On descend rarement aujourd'hui[1] au-dessous de $0^m,20$ ou $0^m,25$. Un grand nombre de forages atteignent $1^m,00$. Les puits artésiens se pratiquent même sur des diamètres qu'on a portés jusqu'à $1^m,80$. Enfin le procédé du sondage a été étendu de la manière la plus remarquable au fonçage direct des puits de mines. Dans ce cas, le diamètre se tient presque toujours entre $3^m,00$ et $4^m,00$ et a été poussé, très exceptionnellement à la vérité, jusqu'à $5^m,00$.

Quant à la hauteur, elle peut dans certains cas rester insignifiante, comme pour la sonde du tourbier, celle des minerais de fer de superficie, les puits instantanés. On rencontre ensuite tous les degrés de profondeur, jusqu'à une limite que les progrès de l'art du sondeur ont beaucoup reculée. Je citerai comme chiffre extrême le sondage de Sperenberg[2], situé à quarante kilomètres au sud de Berlin. A 80^m, la sonde est entrée dans le sel pur et ne l'a plus quitté jusqu'à 1272^m, profondeur à laquelle on a arrêté arbitrairement l'opération, sans que rien indiquât encore la fin du gisement. Dans la méthode spéciale du sondage au diamant, la progression de la profondeur a été d'une incroyable rapidité depuis la date récente de cette invention. On a atteint à Probst-Jesar (près Lübtheen, Mecklembourg-Schwérin) la hauteur de 1207^m, dont 1109 ont été forés au diamant, et le reste par le procédé ordinaire.

79 — La question du sondage est des plus compliquées, et, pour mettre de l'ordre dans sa description, nous y établirons les divisions suivantes. Nous distinguerons d'abord dans l'*équipage de sonde*, sous le nom d'*engin extérieur*, tout ce qui se trouve au-dessus du sol; la partie qui s'enfonce dans le sein de la terre formant la *sonde* proprement dite. Dans cette dernière, nous envisagerons séparément la *tige* et l'*outil*. La tige comprend elle-même trois parties : la *tête*

(1) Sauf dans le procédé du sondage au diamant (N° 113).
(2) Voisin, *Annales*, 7e, V, 51.

qui la met en relation avec l'engin extérieur, les *rallonges* qui forment toute sa hauteur, enfin le *joint à chute libre* qui l'assemble à l'outil. Quant aux outils, ils sont en quelque sorte innombrables. Nous les rangerons en cinq catégories, relatives à l'*attaque*, au *curage*, au *tubage*, aux *accidents* et aux *recherches*.

§ 2

ENGIN EXTÉRIEUR

80 — *Chevalement.* — Il faut avant tout se procurer un point d'appui élevé au-dessus du sol [1], qui permette de sortir la tige sur une grande longueur, afin de diminuer par là le nombre d'opérations nécessaires pour sa fragmentation. On emploie pour cela un *chevalement* en charpente (fig. 40 et 41), analogue à celui des puits d'extraction dont nous nous occuperons plus tard. A ce chevalement se rattachent les constructions et les toitures destinées à abriter les appareils, les bureaux, les logements. L'importance de cet ensemble varie naturellement beaucoup avec la profondeur et la section que l'on compte donner au trou de sonde.

A la hauteur du chevalement au-dessus du sol vient s'ajouter, pour fixer la longueur des rallonges de la tige, une certaine profondeur en contre-bas. On a soin, en effet, de foncer dès le début, sur une faible hauteur, un puits concentrique au trou de sonde, pour traverser les terrains de surface. On y établit, à un niveau un peu inférieur, un plancher de manœuvre formé de madriers mobiles. Au-dessous de ce plancher, et sans aucune solidarité avec lui pour éviter les ébranlements, se trouve un tuyau, que l'on a soin avant tout de dresser suivant la verticale avec la plus grande précision. Ce tube, qui présente exactement le diamètre adopté pour le forage, est destiné à prévenir toute déviation dès le début, en guidant convenablement l'instrument. L'orifice est muni d'un couvercle, fermé à clef dans les intervalles de chômage. Pendant

[1] 17 mètres au forage artésien de La Chapelle, à Paris; 26 mètres pour le sondage au diamant de Neuville (Allier).

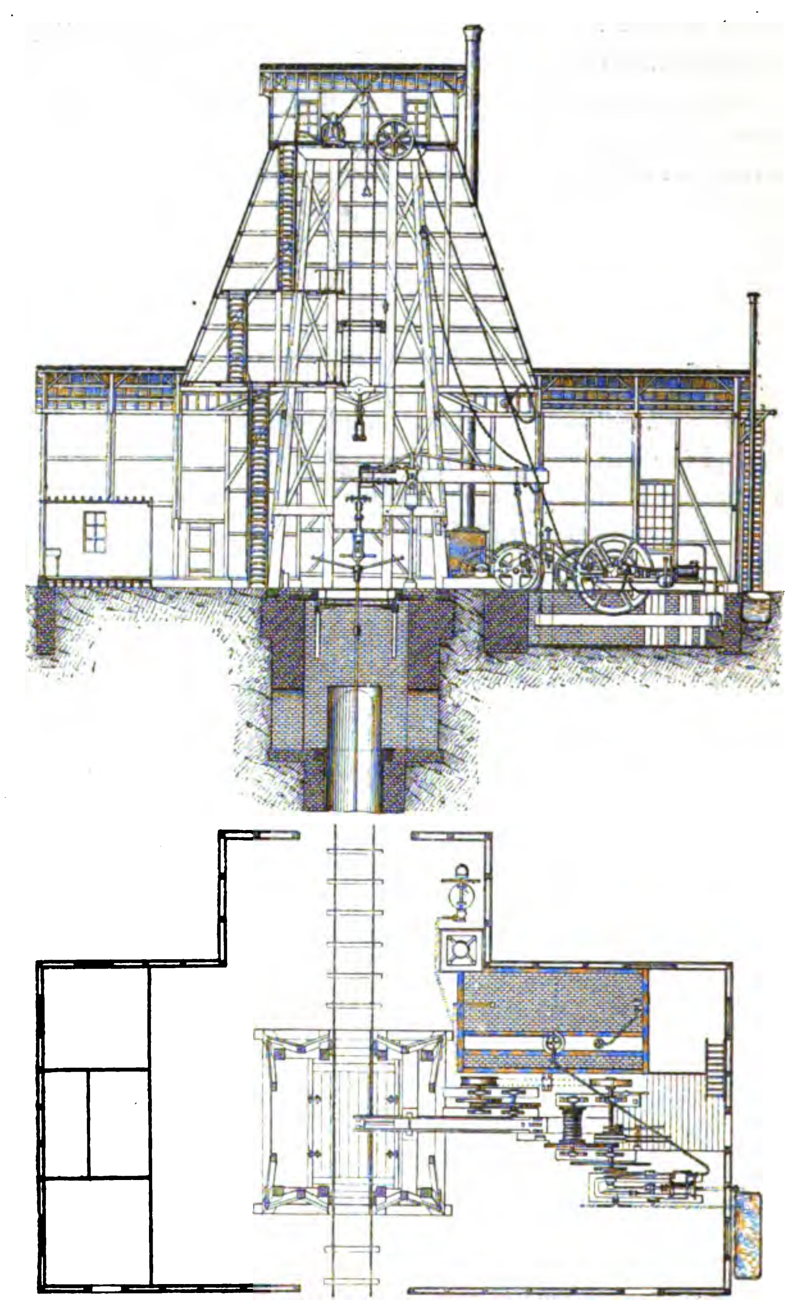


Fig. 40 et 41. Chevalement de sondage (plan et élévation).

l'opération, on se contente de le recouvrir de deux planches, échancrées de manière à permettre seulement le passage de la tige, pour prévenir la chute d'objets quelconques qui pourraient devenir la source des plus grandes difficultés (n° 112).

Au sommet de la charpente se trouvent placées deux poulies, ou *molettes*, sur lesquelles passent des câbles plats, analogues à ceux que l'on emploie pour l'extraction des minerais, ou des chaînes de fer. Ces chaînes pendent verticalement au-dessus du trou, et sont terminées chacune par un S de suspension (fig. 42). A l'autre extrémité, elles vont s'enrouler sur le *treuil de manœuvre* dans deux sens opposés, de telle sorte que, quand l'une monte pour enlever la tige, le second crochet descende pour être prêt à la ressaisir au niveau du sol, en permettant une nouvelle ascension.

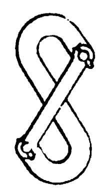


Fig. 42.
S de suspension.

81 — *Sortie et rentrée de la sonde.* — La sortie de la sonde s'opère de la manière suivante. On adapte à chacune des chaînes un *pied-de-bœuf*. C'est un organe fourchu (fig. 43), ou symétrique (fig. 44), à l'aide duquel on soutient la tige au-dessous de la partie renflée de l'*emmanchement a* (fig. 54), qui termine chaque rallonge à ses extrémités et sert à les assembler. Le corps de la rallonge a un calibre qui lui permet de passer entre les deux branches du pied-de-bœuf; mais l'emmanchement ne peut traverser de haut en bas cet intervalle, et il y reste suspendu. En agissant alors sur les chaînes, on enlève la tige, de manière à la sortir de toute la longueur d'une rallonge. On pose à plat sur le sol la *clef de retenue* (fig. 45) au-dessous du cran de

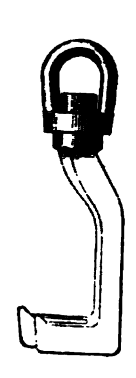


Fig. 43.
Pied-de-bœuf.

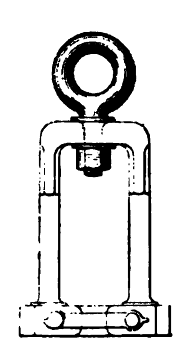


Fig. 44.
Pied-de-bœuf symétrique.

l'emmanchement de la rallonge suivante, et l'on redescend, de manière à laisser tout le système porter sur cette clef. Puis on désassemble la rallonge supérieure, et on la dépose, en l'appuyant debout contre la charpente, afin de pouvoir l'y reprendre facilement. Le second pied-de-bœuf, qui est redescendu pendant cette ascension, saisit alors la rallonge suivante, et l'on procède à un nouvel enlevage.

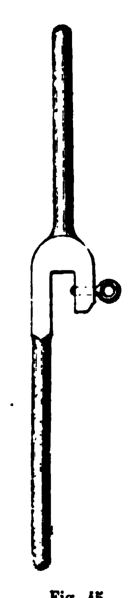


Fig. 45.
Clef de retenue.

Quand il s'agit au contraire de rentrer la sonde, on opère d'une manière inverse. La partie déjà assemblée reposant sur la clef de retenue, on lui adapte une rallonge, que l'on assemble sur le sommet de la dernière. On saisit cette nouvelle tige avec le pied-de-bœuf au-dessous de son emmanchement supérieur, on soulève légèrement pour ôter la clef de retenue, et on laisse filer la tige d'une longueur de rallonge. On a soin d'ailleurs de replacer vers la fin la clef de retenue, pour soutenir la rallonge par son renflement supérieur.

82 — *Attaque et curage.* — Lorsque la sonde est arrivée au fond, on procède aux opérations fondamentales de l'avancement, qui sont au nombre de deux : l'*attaque* et le *curage*.

L'attaque peut elle-même s'opérer suivant deux modes distincts : le *battage* et le *rodage*. Examinons successivement ces trois manœuvres.

Pour opérer par rodage, il s'agit d'imprimer à la tige un mouve-

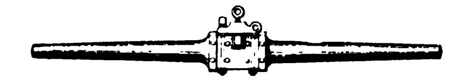


Fig. 46. Manche de manœuvre.

ment de rotation sur elle-même. A cet effet, on passe à travers un œillet, ménagé dans la tête de sonde, une barre horizontale appelée

manche de manœuvre ou *manivelle* (fig. 46), sur laquelle agissent les hommes comme pour virer au cabestan.

Le battage exige que l'on soulève la tige d'une certaine hauteur,

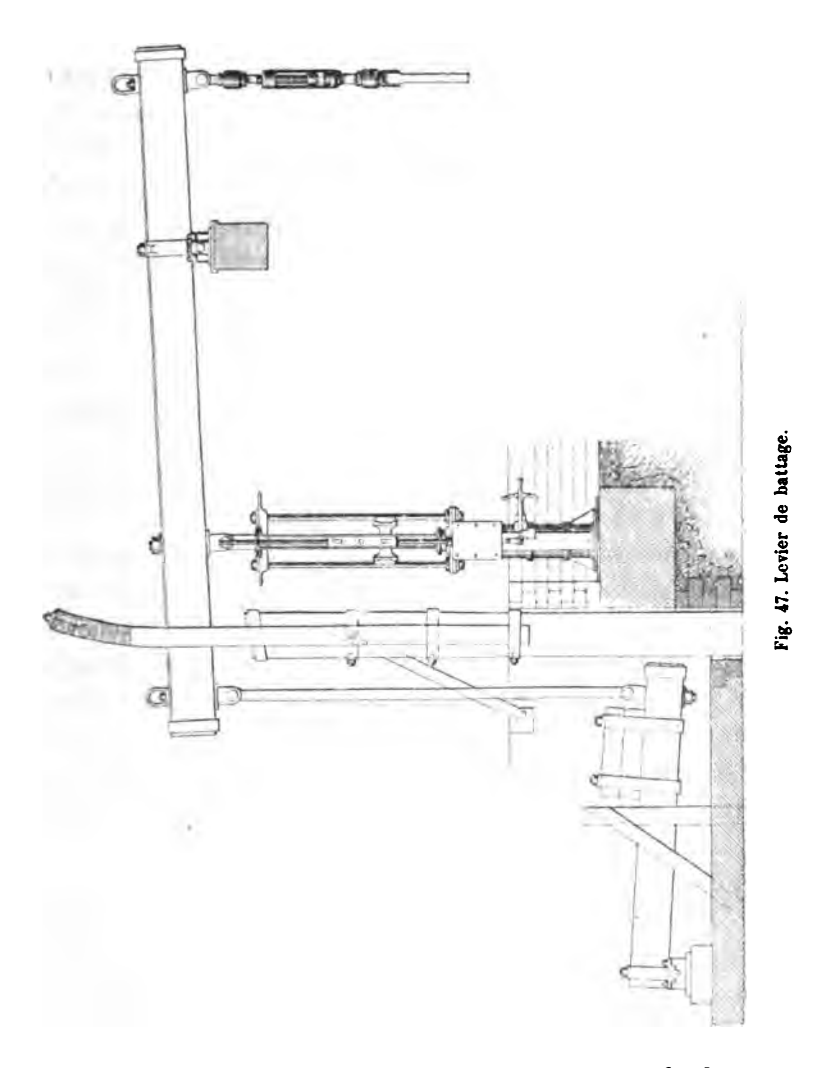


Fig. 47. Levier de battage.

formant la *levée*, pour la laisser ensuite retomber au fond par son poids. On se sert pour cela du *levier de battage*, appelé aussi *levier à secteur*, ou *bascule* (fig. 47). M. John Paton a également employé pour ce relevage un embrayage à rouleaux de friction. On a

soin, pendant le battage, de dévier progressivement le plan méridien, à l'aide du manche de manœuvre, de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$ de tour à chaque coup, pour éviter que l'outil, en rentrant plusieurs fois dans la même entaille, ne vienne à s'y coincer.

Le curage s'effectue à l'aide de récipients que nous décrirons quand il en sera temps. On les fait *danser* verticalement en *sonnant* avec la tige, pour permettre un jeu de soupapes qui sera expliqué plus loin. Quand on juge que la cloche est remplie, on peut l'enlever au jour, en démontant successivement la tige comme pour la sortie d'un outil. Mais on a aussi la ressource plus simple, de substituer à cette tige un câble en fil de fer enroulé sur un tambour spécial : le *treuil de curage*. On fait passer ce câble sur une poulie, portée par un petit chariot que l'on amène sur des rails placés à une hauteur convenable, jusqu'à l'aplomb du trou. On y suspend la cloche, que l'on descend au fond par le déroulement du câble. On sonne jusqu'à ce qu'elle soit remplie, et on la remonte de même, en enroulant le câble par une rotation inverse du treuil.

83 — *Force motrice.* — Pour ces diverses opérations, une force motrice est nécessaire. Aux faibles profondeurs, on se contentera de celle des hommes, avec une simple chèvre en guise de chevalement. La force de l'homme a même suffi seule à Sperenberg jusqu'à 300^{m}. Son intervention reste d'ailleurs nécessaire à toutes les hauteurs, pour la rotation du manche de manœuvre. Dans les enlevages, les hommes agissent au treuil ou au cabestan. Pour le battage, ils se servent de la sonnette à tiraude et à déclic, usitée dans le battage des pilotis.

Quand la profondeur vient à augmenter au delà d'une certaine limite, on se trouverait conduit à employer un trop grand nombre d'hommes. Leur agglomération serait une cause de confusion très fâcheuse, avant même de devenir matériellement impraticable. Pour ce motif il est alors préférable, si l'on croit pouvoir éviter l'intervention de la vapeur, de recourir à l'emploi des chevaux au manège [1].

[1] La sonde Travanet est mue par des ânes jusqu'à 60 mètres de profondeur. (Lecacheux, *Bull. min.*, 2e, IX, 370.)

84 — Mais la vraie solution consiste ordinairement dans l'application de la force de la vapeur. Avec un sondage de peu d'importance, il suffira souvent d'amener à pied d'œuvre une locomobile. Mais, la plupart du temps, il y aura lieu d'établir une machine fixe.

Pour le battage, on aura un cylindre spécial, semblable à celui du marteau-pilon, car il s'agit d'une fonction analogue. Pour l'enroulement des câbles de suspension, on emploie une machine calquée sur les moteurs d'extraction, dont nous nous occuperons plus tard et qui sont destinés, en effet, à un fonctionnement semblable. On doit lui adjoindre un frein puissant, afin d'obvier aux accidents, et un embrayage, pour pouvoir la rendre à volonté indépendante. Sous ce dernier rapport, la connexion par courroies sera préférable à l'emploi des engrenages, car elle permet le glissement, en cas d'effort excessif, comme il s'en présente, par exemple, dans les manœuvres anormales destinées à remédier à un dérangement.

On peut du reste diminuer l'intensité des efforts dynamiques qu'aura à exercer le piston à vapeur, en interposant des moufles dans la commande des chaînes. On en sera quitte pour donner un plus grand nombre de coups de piston. Quant à la fatigue statique que supporte transversalement l'axe des molettes, comme ces dernières sont sollicitées par les tensions, sensiblement égales, des deux brins, que nous considérerons pour plus de simplicité comme parallèles, il faudra compter, pour ce total, sur le double du poids de la sonde, en y ajoutant encore un appoint plus ou moins important pour les efforts additionnels en cas d'accident.

§ 3

TIGE DE SONDE

85 — *Tête de sonde.* — La tige de sonde se divise, comme nous l'avons dit (nº 79), en trois parties : la tête, les rallonges, et le joint à chute libre.

La *tête de sonde* (fig. 48) est formée d'un étrier qui sert à la sus-

pendre. Un axe libre permet à ce dernier de conserver son orientation dans l'espace, pendant que la tige est appelée à tourner sur elle-même. Un trou rond, ou même deux semblables trous, pratiqués dans des directions rectangulaires, permettent de passer les manches de manœuvre qui servent à déterminer cette rotation.

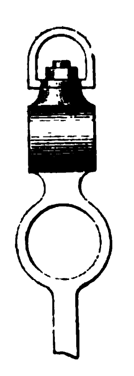


Fig. 48.
Tête de sonde simple.

Parfois on désire, pour la facilité des dispositions extérieures, que l'étrier d'amarrage garde toujours les mêmes niveaux pendant le battage. Il faut pour cela, puisque celui du fond s'abaisse progressivement en raison de l'avancement, que la tête devienne extensible. C'est ce que l'on réalise (fig. 49) au moyen d'une vis que l'on tourne peu à peu dans son écrou. Un index gradué sert à mesurer avec précision l'appoint de la profondeur, dont la partie principale s'évalue d'après le nombre de rallonges que l'on a assemblées, et qui représentent une longueur connue.

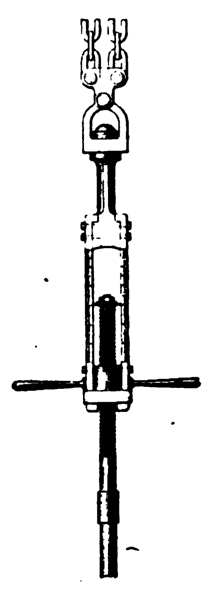


Fig. 49.
Tête de sonde à vis.

86 — *Rallonges*. — Les *rallonges* servent, par leur réunion consécutive, à constituer *la tige*. On les appelle aussi individuellement *les tiges*.

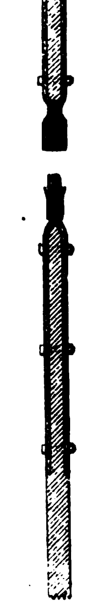
Elles doivent être toutes identiques, afin de pouvoir être prises dans un ordre quelconque. Il faut qu'elles soient rigoureusement rectilignes pour éviter les déviations. On les contrôle de temps en temps, sous ce rapport, à l'aide d'un fil à plomb.

La longueur des rallonges doit être aussi grande que possible, afin de diminuer le nombre total des assemblages, qui sont des parties coûteuses et critiques, ainsi que le temps des opérations nécessaires pour effectuer une sortie ou une rentrée de la tige.

Cette dimension est déterminée par la hauteur du chevalement. Elle lui est égale ou en forme un sous-multiple.

Dans le cas où l'on exécute un sondage au fond d'un puits de mines, ce dernier fait lui-même fonction de chevalement, avec une hauteur bien supérieure aux dimensions ordinaires. On en profite alors pour sortir à la fois plusieurs rallonges que l'on dépose, sans les disjoindre, contre les parois du puits.

Comme les variations de niveau de la tête de sonde pendant le battage, ou la longueur de la vis qui la rend extensible pour supprimer ces changements de niveau, ne sauraient naturellement atteindre la hauteur d'une rallonge, qui est ordinairement comprise entre 5 et 12 mètres, on leur adjoint une série de rallonges plus courtes, ayant chacune une longueur égale à celle de la vis. Lorsque celle-ci est à bout, on la remonte entièrement dans son écrou, en la remplaçant par une de ces tiges accessoires. Elles disparaissent ensuite toutes à la fois, quand l'ensemble atteint la dimension d'une rallonge ordinaire.


Fig. 50 et 51. Tiges de bois.

87 — La section des rallonges est de forme carrée, afin de permettre l'usage de la *clef de retenue* (n° 81), et aussi celui du *tourne à gauche* en saisissant les tiges en un point quelconque de leur longueur. Son équarrissage dépend de l'importance du sondage et de la substance employée.

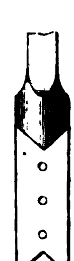
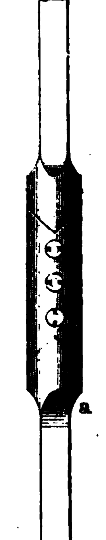
Il existe en effet des tiges en fer ou en bois. Pour les premières, le côté du carré est ordinairement compris entre 25 et 50 millimètres. Il s'élève à 80 millimètres dans le fonçage des puits de mines.

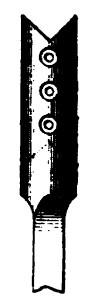
La section doit augmenter pour les tiges en bois, puisque la résistance spécifique de la matière est moindre, dans le rapport du sixième environ. Cependant cette variation est considérablement diminuée par celle de la densité. Il y faut joindre l'influence du principe d'Archimède, attendu que les tiges sont immergées dans l'eau, ce

qui oblige à retrancher de cette densité l'unité, pour évaluer l'effort qui est effectivement supporté par la section. D'après cela, sans la présence des ferrures et de l'outil, et en écartant en ce moment l'influence très importante de l'imbibition, la tige de bois devrait flotter et sa section n'aurait plus rien à soutenir. Au lieu de cette extrémité idéale, on n'aura en réalité qu'une diminution de poids, mais elle est assez notable pour que l'on puisse se contenter dans la pratique d'équarrissages de 60 à 100 millimètres de côté. Ces tiges servent surtout pour les forages destinés à atteindre de grandes profondeurs.


Fig. 52. Tiges de fer.

M. Van Dijk, dans les sondages qu'il a exécutés aux Indes néerlandaises, a introduit l'emploi combiné, du bois pour alléger la tige, et d'une *âme* en fer qu'on y insère suivant son axe pour lui donner du raide [1].


Fig. 53, 54, 55. Assemblage à enfourchement.

88 — Les extrémités, ou *assemblages*, des rallonges sont des organes d'une grande importance et doivent particulièrement fixer l'attention. Si la tige est en bois, ces parties sont métalliques et boulonnées sur ses extrémités (fig. 50, 51). Si elle est en fer, les assemblages sont formés d'un métal de choix soudé aux extrémités du corps principal de la rallonge (fig. 52).

Il existe deux genres d'assemblages : à vis ou à enfourchement. L'*assemblage à vis* est de beaucoup le plus employé, en raison de sa simplicité (fig. 52). La vis est triangulaire. Elle est toujours tournée

[1] Lippmann, *L'Art du sondage, progrès et résultats*, p. 9.

vers le haut, afin que la douille soit renversée vers le bas, et ne se transforme pas en un entonnoir susceptible de s'encrasser. La profondeur de la douille est un peu plus grande que la longueur de la vis, pour que les embases puissent être serrées l'une contre l'autre.

L'*assemblage à enfourchement* (fig. 53, 54, 55) a sur le précédent l'avantage de permettre des rotations dans les deux sens, sans qu'on ait à craindre, dans les manœuvres qui exigent la rotation inverse, de dévisser la tige en un point intermédiaire de la profondeur. Mais, en revanche, il nécessite pour la réunion des deux parties, l'emploi de boulons mobiles qui sont d'une manœuvre minutieuse et peuvent tomber dans le trou de sonde, en créant les plus graves obstacles.

Dans l'un et l'autre cas, l'assemblage présente un cran *a* et un renflement plus grand que le calibre courant. Nous avons vu l'usage que l'on fait de ce cran pour supporter la tige sur la clef de retenue (n° 81).

89 — *Guides et Parachutes.* — La tige est maintenue dans l'axe du trou de sonde par un certain nombre d'organes qu'on appelle *guides*. Ce sont des cages à claire-voie (fig. 56) un peu moins larges que le trou. Au lieu d'être assujetties à la tige, elles sont libres d'y glisser pendant le battage. Seulement des embases limitent leur course, pour qu'elles n'arrivent pas à s'accumuler les unes sur les autres. La distance de ces arrêts est supérieure à la levée usitée pour le battage.

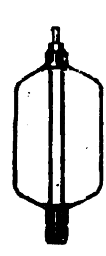


Fig. 56. Guide.

90 — On adapte en outre à chaque rallonge un *parachute*, sorte de chapeau en cuir (fig. 57), dont la concavité est tournée vers le bas. Si la tige vient à se briser, la chute rapide du tronçon inférieur dans le sein de l'eau se trouve ralentie par les parachutes, qui y prennent un point d'appui. Les conséquences de l'accident seront ainsi amorties.

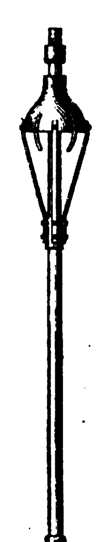


Fig. 57. Parachute.

Pour éviter que les parachutes ne viennent également exercer cette action pendant le battage, de manière à en paralyser les effets, on leur laisse, comme aux guides, une certaine liberté d'excursion le long de la tige. L'inconvénient se trouve par là supprimé pendant cette fonction normale de la tige, tandis qu'au moment d'une chute accidentelle prolongée, le parachute, ayant bientôt rejoint dans son mouvement relatif l'embase qui limite vers le haut sa course, se trouve, à partir de ce moment, forcé d'accompagner la tige, et fait dès lors son office de ralentissement.

§ 4

JOINT A CHUTE LIBRE

91 — *Objet du joint à chute libre.* — Autrefois on se contentait, pour assembler le trépan à la tige, de visser dans la douille de la dernière rallonge la vis qui surmonte cet outil. Mais il résultait de là des inconvénients très graves, avec lesquels il n'eût jamais été possible d'aborder couramment les grandes profondeurs que l'on atteint aujourd'hui.

En premier lieu, l'intensité de la frappe devenait éminemment variable depuis l'origine du sondage jusqu'à sa terminaison; puisque le corps choquant se composait d'une partie constante, le trépan, et d'une autre, proportionnelle à la hauteur. On avait, à la vérité, la ressource de modifier la levée en raison inverse du poids; mais cette compensation restait insuffisante pour le bon fonctionnement des appareils.

En outre, au moment où l'ensemble touche le fond, la vitesse se trouve, avec ce procédé, anéantie dans toutes les parties à la fois. L'énorme force vive qui s'y trouve accumulée ne peut cependant disparaître que par une production de travail. On en retrouve, à la vérité, une certaine quantité dans la désorganisation de la roche; c'est la partie utile. Mais, en outre, la forme éminemment défavorable du corps choquant, qui est ici, pour ainsi dire, linéaire, tend à dépenser le reste du travail disponible, de manière à *voiler* la tige, en y déterminant des courbures latérales. Cette violente vibration

peut même aller jusqu'à produire la rupture. Dans tous les cas, en fouettant ainsi la paroi, elle tend à la désagréger rapidement.

On a cherché à supprimer ce double inconvénient, en maintenant une certaine indépendance entre la tige et le trépan, de telle sorte qu'au moment où celui-ci touche le fond, son poids seul intervient pour produire un choc, car lui seul se trouve brusquement arrêté dans sa course. En raison de son indépendance, la tige continue au contraire librement son parcours, sur une certaine longueur que l'on emploie à amortir progressivement, par des résistances convenables, sa force vive. On arrive de cette manière à l'arrêter doucement, avant qu'elle n'aille elle-même choquer contre le fond, ou contre le trépan, devenu immobile. Cela fait, la tige remonte, ressaisit le trépan et le relève.

Un assez grand nombre de dispositifs, pour la plupart extrêmement ingénieux, ont été proposés dans ce but. Je me contenterai de décrire trois des principaux (¹).

92 — *Coulisse d'Œynhaussen.* — Je citerai d'abord le plus ancien de tous, la coulisse d'Œynhaussen, encore usitée en raison de sa grande simplicité (fig. 58, 59).

Cet organe est composé de deux parties, qui s'adaptent respectivement à la dernière rallonge et au trépan. La portion supérieure présente la forme d'une coulisse rectiligne, et l'autre se termine par un coulisseau engagé dans cette rainure. Pendant le mouvement descendant, le bouton repose naturellement sur le point le plus bas de la coulisse. Mais quand le trépan s'arrête contre le fond, celle-ci

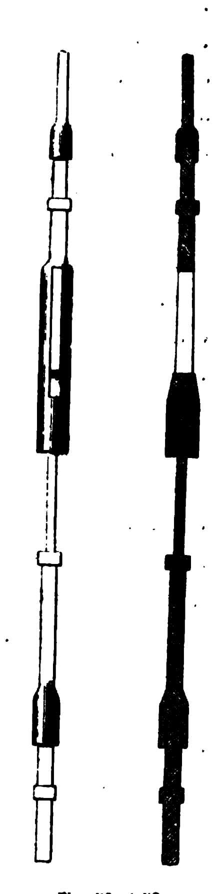


Fig. 58 et 59.
Coulisse d'Œynhaussen
(coupe et élévation).

(¹) Je me bornerai à une simple mention pour les appareils Charles-François, Dehulster, Ermeling, Esche, Fabian, Gault, Huchet, Kind, Sigmondi, Van Dijk, Zobel.

continue sa descente. Le coulisseau, devenu immobile dans l'espace, la parcourt en quelque sorte de bas en haut d'un mouvement relatif. Pendant ce temps, plusieurs moyens distincts peuvent être mis en œuvre pour arrêter la tige, avant que le sommet de la coulisse ne vienne lui-même choquer sur le coulisseau.

93 — Un premier mode consiste à disposer un arrêt fixe, sous lequel vient buter la queue du levier de battage (fig. 47) qui est en train de remonter pendant que la tige descend. C'est, à la vérité, encore un choc, mais il n'a plus les inconvénients de celui que l'on a voulu éviter. En effet, en arrêtant par la partie supérieure la tige qui se trouve lancée vers le bas, on tendrait plutôt à en rectifier les sinuosités, s'il en existait déjà, qu'à la faire flamber, comme lorsque son extrémité inférieure se trouve fixée la première.

Néanmoins ce procédé est encore brutal. On a cherché à diminuer sa dureté, tout en conservant sa simplicité, par l'interposition d'un ressort de choc. Mais le véritable moyen d'adoucir l'arrêt des tiges consiste dans l'emploi de contrepoids, qui n'agissent que d'une manière progressive.

94 — Ici même, deux systèmes différents peuvent être mis en œuvre. Dans un premier mode, on installe le contrepoids à demeure sur la queue du balancier. Sa valeur est du reste tellement choisie, que son moment par rapport à l'axe de rotation soit inférieur à celui de l'ensemble de la tige et du trépan, afin de permettre le battage; mais, en même temps, ce moment est supérieur à celui de la tige seule. Dès lors, quand le trépan a touché le fond, et que son action sur le balancier se trouve abolie, celui-ci ralentit son mouvement à partir de cet instant, et, pour peu que la rainure soit assez longue et le contrepoids suffisant, il s'arrêtera avant que le sommet de la coulisse ait rejoint le coulisseau.

Mais on préfère à juste titre à ce dispositif un second mode dans lequel le contrepoids, au lieu de faire corps avec le balancier, repose simplement sur deux appuis fixes, à un tel niveau qu'il se trouve saisi sous sa face inférieure par la queue du levier, au moment même où le trépan vient de toucher le fond. De cette manière, pour

réaliser une même intensité de choc, c'est-à-dire une même vitesse finale du trépan, l'on n'a plus, dans l'évaluation de la force vive, à prendre comme second facteur que les masses de la tige et du trépan seuls, sans leur adjoindre celle du contrepoids, qui est encore immobile à cet instant. La destruction de cette force vive, devenue moindre, pourra donc être opérée avec une coulisse moins longue et un contrepoids allégé.

Indépendamment de l'avantage de cette simplification, le rendement en effet utile se trouvera amélioré. En effet, pour un même travail utile, c'est-à-dire un même choc du trépan, on a maintenant une moindre force vive totale, et par suite un moindre travail à fournir par le moteur pour vaincre la pesanteur pendant la levée, afin que la gravité, en restituant un travail égal pendant la chute, arrive à créer cette force vive.

95 — Pour formuler le rendement de ces divers dispositifs, désignons par P le poids du trépan, P′ celui des tiges, p leur bras de levier, c'est-à-dire la longueur du balancier de battage, Q le contrepoids et q sa distance à l'axe de rotation. Au point de vue de l'évaluation des forces vives, nous pouvons, par la pensée, substituer au poids réel Q un contrepoids fictif $Q\frac{q^2}{p^2}$ qui serait placé sur le levier de battage à la même distance p que les tiges, mais de l'autre côté de l'axe de ce balancier. En effet, la vitesse se trouvant par là réduite dans le rapport de p à q, et par suite son carré dans celui de p^2 à q^2, la force vive de la nouvelle masse installée de cette manière restera la même. Dans ces conditions, tous les poids se trouveront à la même distance de l'axe (car, pour simplifier, nous faisons abstraction du levier lui-même, et nous réduisons le contrepoids à son centre). Il suffira donc, pour avoir le rapport des travaux développés par la pesanteur, c'est-à-dire celui des forces vives créées par elle, d'envisager les rapports des forces elles-mêmes.

Or le trépan P est seul à travailler utilement. Pour l'animer de sa vitesse de chute, il a fallu, avec le premier système, la communiquer en outre à la tige et au contrepoids, c'est-à-dire à l'ensemble

$P + P' + Q\frac{q^2}{p^2}$. Le rendement pourra donc avec ce dispositif être représenté par la fraction :

$$\frac{P}{P + P' + Q\frac{q^2}{p^2}}.$$

Avec le second mode, au contraire, on n'a mis en mouvement, au moment où le trépan touche le fond, que les tiges, en même temps que lui, mais non le contre-poids. Le rendement devient donc :

$$\frac{P}{P + P'},$$

et il est, comme nous l'avons déjà remarqué, plus favorable.

L'aggravation de dépense occasionnée par le premier dispositif sera marquée par le rapport de ces deux fractions, à savoir :

$$1 + \frac{Q}{P + P'}\,\frac{q^2}{p^2}.$$

Pour rendre ce mode le moins défavorable possible, si l'on se résout à l'appliquer pour éviter le choc du levier sous le contre-poids, il conviendra de diminuer autant que possible la fraction

$$\frac{Q}{P + P'}\,\frac{q^2}{p^2},$$

en disposant pour cela de Q et de q. Remarquons à cet égard que le moment Qq du contrepoids réel est déterminé, jusqu'à un certain point du moins, par la condition d'être supérieur à celui $P'p$ de la tige. On peut, d'après cela, le représenter par $\alpha P'p$, en désignant par α un nombre supérieur à l'unité. On se donnera d'ailleurs arbitrairement la valeur de ce coefficient, en vue de raccourcir ou d'allonger plus ou moins la coulisse, en rendant plus ou moins pré-

pondérante l'action du contrepoids. La fraction devient, par là,

$$\frac{\alpha}{1+\frac{P'}{P}}\frac{q}{p};$$

et l'on voit que, pour la réduire le plus possible, il y aura avantage à augmenter le contrepoids en diminuant le contre-balancier.

96 — *Joint Lippmann.* — M. Lippmann emploie un dispositif, dans lequel le joint se comporte en quelque sorte comme une main qui lâcherait à un certain moment le trépan en le laissant retomber, pour aller ensuite le ressaisir au fond du trou, le relever au même niveau et l'y lâcher de nouveau. Le mouvement de ce grappin, commandé par la rotation de la machine à vapeur, est d'ailleurs continu et identique à celui d'un piston manœuvré par une manivelle par l'intermédiaire d'une bielle, avec cette seule différence que la tige de ce piston, qui est ici la tige même de la sonde, devient démesurément longue.

Cette circonstance présente l'avantage de compenser exactement en théorie les divers travaux effectués par la pesanteur sur les tiges. On n'a plus besoin que de fournir, à chaque tour, le travail nécessaire pour relever le trépan ; mais cette dépense elle-même se retrouve dans l'effet utile de la chute libre. En outre, on remplace ainsi par un mouvement très doux tous les chocs accessoires inhérents aux combinaisons de l'appareil précédent.

Une partie fixe repose sur le fond du trou. On l'appelle le *poids mort*. J'indiquerai dans un instant comment il a été descendu et comment on le remontera au jour. Sur ses montants (fig. 60, 61) se trouvent deux arrêts A, que l'on rend parfois mobiles à volonté en vue de régler la levée du trépan. Entre ces montants joue une pièce rectangulaire fixée à l'extrémité de la tige et portant les organes suivants. D'abord deux pattes recourbées B, susceptibles de jouer chacune sur son axe. Leur écartement est maintenu à la partie supérieure par des ressorts C, très faibles d'ailleurs. Elles serrent donc par leur partie inférieure le champignon D qui sur-

monte la tige du trépan, et constituent le grappin dont j'ai parlé, qui s'élève avec l'outil. Pour le faire ouvrir, de manière à lâcher ce champignon, il suffit de forcer les parties supérieures à se rapprocher. C'est ce que produisent les secteurs E qui, en butant contre A, sont obligés de se replier en dedans, en inclinant les pattes B, et faisant légèrement céder les ressorts de suspension F en même temps que ceux d'écartement C. Quand le système redescend, toutes les pièces se remettent en place en raison de l'élasticité des ressorts, et lorsque les pattes B se posent sur la convexité du champignon; sa conicité les entr'ouvre facilement pour lui permettre de se glisser entre elles. Elles se rapprochent ensuite en dessous par l'influence des ressorts d'écartement C, et le trépan se trouve saisi pour un nouvel enlevage.

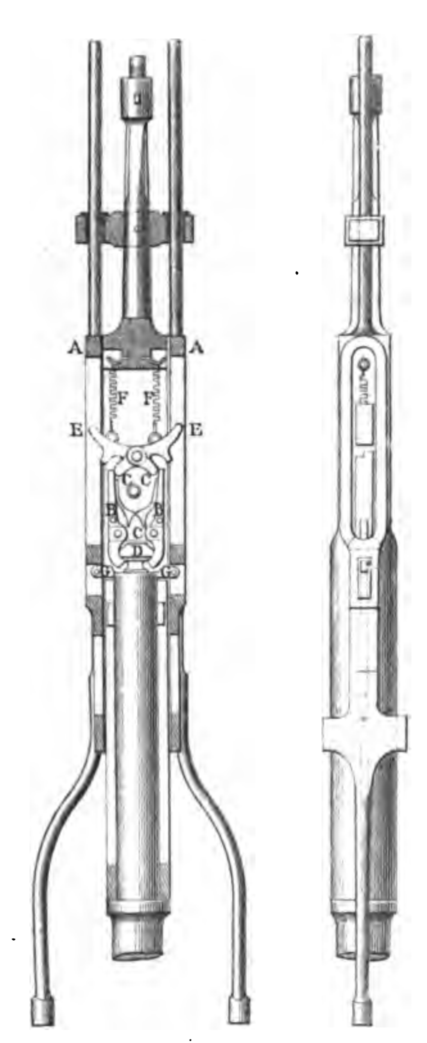


Fig. 60 et 61. Joint à chute libre Lippmann (élévations antérieure et latérale).

Quand on descend le système du dehors, le poids mort repose par sa traverse sur la partie supérieure de la pièce rectangulaire qui termine la tige. Ce n'est qu'au moment où il touche le fond, que cette pièce, en continuant son mouvement, quitte la traverse, et peut jouer dans cet espace libre pour effectuer son fonctionnement. On a soin d'interposer deux cames G,

pour empêcher que les pattes ne viennent à s'ouvrir, sous l'influence d'une circonstance quelconque, en lâchant le trépan, qui pourrait cisailler la traverse inférieure du poids mort et tomber jusqu'au fond en détruisant tout. Quand il s'agit de ressortir tout l'ensemble, on n'a plus à craindre ce danger, car on laisse reposer le trépan par ses oreilles sur cette traverse inférieure du poids mort, pour le ramener au jour, et il ne risque plus, comme à la descente, d'accrocher les parois, de manière à laisser le poids mort prendre de l'avance et y retomber ensuite brutalement.

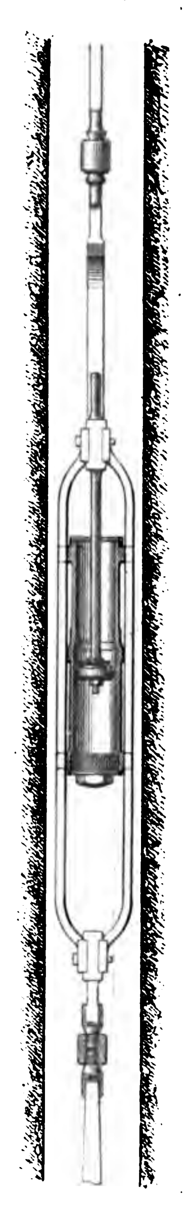


Fig. 62. Joint Dru à pression d'eau.

97 — *Joint Dru.* — Parmi plusieurs dispositifs de joint libre [1], M. Dru en a introduit un qu'il appelle *coulisse à pression d'eau* (fig. 62). Son principe essentiel consiste dans l'emploi d'un cylindre foncé par le bas, ouvert à sa partie supérieure, et composé de deux travées de diamètre un peu différent, dont la plus large est placée au-dessous de l'autre. Un piston obturateur porte le trépan à l'extrémité de sa tige, qui traverse le fond du cylindre. Quand celui-ci est à bas, l'obturateur en occupe la partie supérieure. La machine enlevant vivement la sonde, l'eau éprouve trop de difficulté à s'échapper entre le piston et le petit cylindre, qui est d'un diamètre presque égal, pour que le piston puisse y prendre un mouvement relatif bien rapide. Aussi le trépan se trouve-t-il enlevé du même coup. Mais quand l'obturateur finit par arriver à la travée la plus large, le jeu se trouve alors assez grand pour

[1] *Notice* sur les appareils et outils de sondage exposés par Léon Dru, 1878, p. 26.

que le piston ne rencontre plus la même résistance, et le trépan tombe en chute libre.

§ 5

OUTILS D'ATTAQUE ET DE CURAGE

98 — *Attaque.* — Nous avons distingué comme moyens d'attaque le battage et le rodage (N° 82). Dans le battage, on emploie deux sortes d'outils : contondants ou tranchants.

Les premiers sont appelés ***casse-pierre*** ou ***bonnet carré*** (fig. 63);

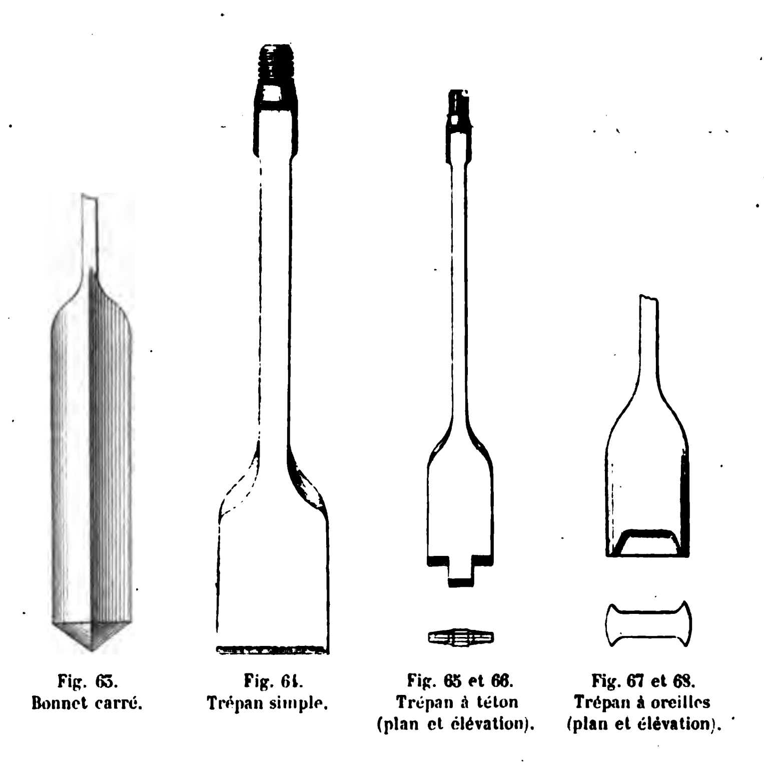


Fig. 63. Bonnet carré. — Fig. 64. Trépan simple. — Fig. 65 et 66. Trépan à téton (plan et élévation). — Fig. 67 et 68. Trépan à oreilles (plan et élévation).

ils constituent une sorte de massue, employée pour briser les matières particulièrement dures.

Les instruments tranchants portent le nom générique de ***trépans***. Le tranchant est plus ou moins aigu suivant que la roche est plus

ou moins tendre. Lorsqu'il s'est émoussé, on le recharge d'acier, et l'on a soin de repasser l'instrument dans un calibre, pour être sûr qu'il a gardé exactement la largeur du trou.

Le *trépan simple* est une sorte de ciseau (fig. 64). Le *trépan à téton* (fig. 65, 66) est muni d'une amorce centrale pour faciliter l'attaque. Le *trépan à oreilles* (fig. 67, 68) présente des ailes courbes disposées latéralement, et destinées à aléser le trou en assurant sa forme de révolution. Ce type est peu usité, à cause de la complication de ses réparations.

Quand le diamètre augmente sensiblement, il devient impossible d'employer un instrument venu d'un seul morceau à la forge. On se sert alors du *trépan composé* (fig. 69, 70). Il est formé d'une carcasse, à laquelle on assemble avec des boulons un certain nombre de trépans élémentaires, faciles à démonter pour les réparations. Pour les puits de mine, le diamètre devient tellement considérable que, si l'on conservait la forme plane du trépan, le centre de la section se trouverait haché, tandis que la circonférence serait peu attaquée, en raison de la divergence des rayons. On emploie pour ce cas la forme en double Y (fig. 71) qui entrecroise les entailles dans la

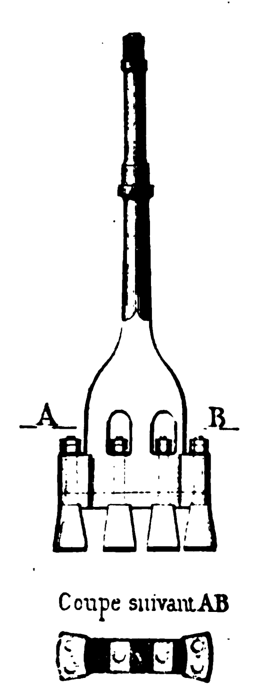
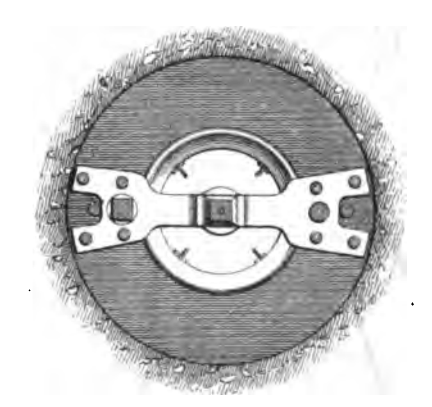


Fig. 69 et 70. Trépan composé (coupe et élévation).


Fig. 71. Trépan fourchu.

région périphérique, et y donne une meilleure répartition du travail de désorganisation. Dans de pareilles conditions, le poids de l'instrument peut s'élever jusqu'à 20 et 25 tonnes.

99 — Parmi les outils qui agissent par rotation, je citerai le *trépan rubané* (fig. 72). On conserve à cet instrument le nom de trépan, parce que, dans des sables légèrement agglutinés, on lui communique encore quelques mouvements verticaux combinés avec une rotation lente.

La *cuiller*, ou *tarière à glaise*

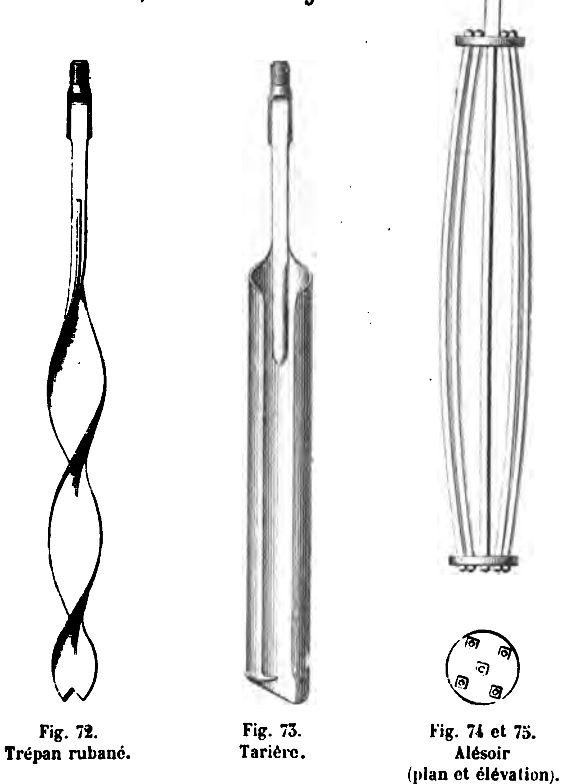


Fig. 72. Trépan rubané.

Fig. 73. Tarière.

Fig. 74 et 75. Alésoir (plan et élévation).

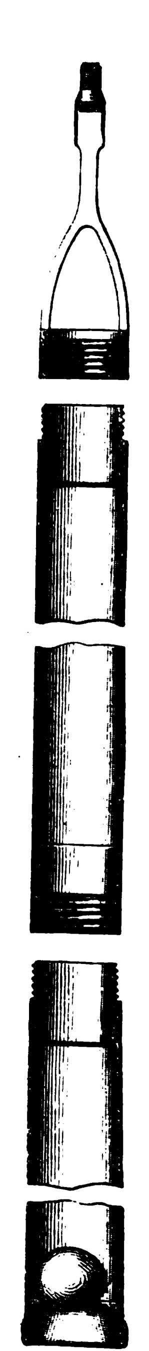


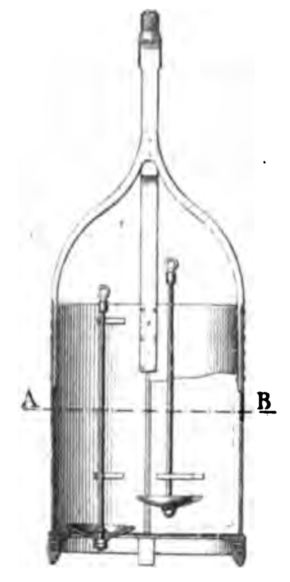
Fig. 76, 77, 78. Cloche à boulet.

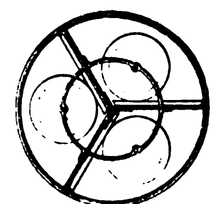
(fig. 73), fonctionne par rodage hélicoïdal dans les terrains argileux.

L'*alésoir* (fig. 74, 75) sert, non plus pour l'avancement du trou, mais pour en parer la surface. C'est une sorte de fuseau, qui a pour méridiennes des lames tranchantes, et auquel on communique un mouvement de rotation.

100 — *Curage.* — En ce qui concerne les outils de curage, il faut dire d'abord que les cuillers, dont nous venons de parler, servent déjà à ramener des *carottes* de glaise.

Mais, en général, le curage se fait avec la *cloche à soupape*. On profite de ce que les matières sont délayées dans l'eau, pour les faire entrer dans la cloche en la sonnant de haut en bas. Pour les faibles diamètres, on se sert de cloches à boulet (fig. 76, 77, 78). Pour le fonçage des puits de mines, on emploie des clapets en forme de calotte sphérique (fig. 79, 80), guidés par une tige verticale, et associés en nombre suffisant pour qu'ils puissent remplir la section, sans atteindre par eux-mêmes de trop grandes dimensions. Comme d'ailleurs un aussi grand appareil ne pourrait se renverser pour vider la cloche, on pratique sur la paroi cylindrique des portes à coulisse, qui s'enlèvent suivant les génératrices pour permettre l'écoulement des matières.





Coupe suivant AB.

Fig. 79 et 80. Cloche à clapets (coupe et élévation).

On évite en partie, dans ce cas, l'emploi des cureurs spéciaux en opérant de la manière suivante, et faisant l'avancement en deux fois. Un trépan, de diamètre réduit, sert à forer sur une certaine longueur un *avant-trou* par les procédés ordinaires. On l'élargit ensuite à l'aide d'un trépan composé, qui n'a plus à désagréger que la couronne annu-

laire, et auquel est suspendue une cloche d'un diamètre presque égal à celui de l'avant-trou. Cet entonnoir reçoit les débris du battage au large, et les ramène au jour quand on remonte le trépan.

§ 6

TUBAGE

101 — *Colonnes de tubes.* — Il ne suffit pas de forer le trou de sonde, il faut encore en assurer la conservation; tantôt pour une laps de temps indéfini, comme pour les puits artésiens; tantôt, au contraire, en se limitant à la durée de la recherche. Certaines roches peuvent se tenir seules sans revêtement; mais d'autres terrains se fatigueraient à la longue, et quelques-uns même ne peuvent pas attendre, sans s'ébouler en masse, ou, tout au moins, laisser détacher des minéraux non adhérents, comme les silex de la craie ou les rognons de fer carbonaté du terrain houiller. Quelques matières sont, en outre, susceptibles de foisonner et de remplir le trou de sonde, ou du moins d'en oblitérer la forme.

Pour tous ces motifs, on se trouve très souvent obligé d'introduire un revêtement artificiel qu'on appelle le *tubage*. Il est même bon, pour peu que l'on puisse prévoir de tels inconvénients, de ne pas attendre leur accomplissement, mais de les prévenir sans hésitation.

Le tubage présente, il est vrai, l'inconvénient de faire perdre une partie de la section. Sous ce rapport, on ne gagnerait rien à ne tuber que les portions ébouleuses, en laissant les autres sans revêtement, car la largeur des objets qui peuvent passer dans le trou de sonde est, bien entendu, fixée par le point le plus étroit. L'économie seule peut militer en faveur de cette combinaison.

102 — On distingue les tubes temporaires et les tubes définitifs. Les premiers sont naturellement plus sommaires. On a même réussi, dans certains cas, à maintenir des sables pendant un temps suffisant, en bourrant le trou d'argile pilonnée, de manière à refou-

ler un peu le sable, en remplissant en outre les parties éboulées. On en est quitte pour forer de nouveau le trou avec la tarière à glaise, qui laisse sur les parois un revêtement d'argile.

La seule matière employée couramment pour les tubages, est aujourd'hui la tôle de fer, que l'on choisit très-douce, pour ne pas risquer de se déchirer sous les efforts développés dans les manœuvres. Son épaisseur varie depuis quelques millimètres, dans les petits sondages, jusqu'à deux centimètres, pour les grands puits artésiens. Dans ce cas, on compose le revêtement de deux tôles superposées, de 1 centimètre chacune, et l'on place à 180° de distance leurs génératrices d'assemblage. On fait de même chevaucher l'un sur l'autre, suivant la longueur, les cercles de rivure des viroles successives. La longueur de ces dernières atteint 2 ou 3 mètres.

On a essayé également la fonte, mais ce n'est guère que pour les puits de mines, car elle fait perdre beaucoup sur la section, et nous aurons à revenir plus tard sur ce sujet (n° 278), en nous bornant, en ce moment, aux trous de sonde ordinaires. Le fer-blanc, le fer galvanisé n'ont pas réussi. Le cuivre est trop cher. Le bois, malgré l'inconvénient de l'épaisseur qui devient excessive, convient très bien pour les puits artésiens. Cette substance, qui pourrit si vite par les alternatives d'humidité et de sécheresse, se conserve au contraire fort bien dans l'eau vive, surtout en ce qui concerne le chêne, l'orme, le hêtre, et, tout particulièrement, l'aune. On peut citer à cet égard le plus ancien des puits artésiens de France, celui du couvent des Chartreux de Lillers (Pas-de-Calais), qui, foré sous le règne de Louis le Gros, en 1126, fonctionne encore aujourd'hui sans qu'on ait eu à renouveler son tubage.

103 — *Enfoncement d'une colonne.* — Les tubes ayant été préparés et amenés à pied d'œuvre, il s'agit de les assembler et d'enfoncer la colonne. Ces deux opérations marchent simultanément. On ajoute une nouvelle virole sur la tête de la dernière, qui fait saillie au dehors; puis on enfonce le tout, d'une quantité égale à la longueur de cette virole, et ainsi de suite. Examinons donc successivement ce qui est relatif à l'assemblage et à l'enfoncement.

Pour assembler les tubes, on a d'avance ménagé à l'une des extré-

mités de chacun d'eux un manchon d'assemblage, avec évidement intérieur, dans lequel s'emboîtera l'extrémité du tube suivant. On les réunit ensuite au moyen de rivets posés à froid, et très effacés pour ne pas déchirer le terrain ni s'opposer au passage des outils.

Pour faire la rivure dans les tubes de grand diamètre, on descend un plancher volant fixé avec des crampons à l'extérieur du tube; un ouvrier s'y installe, pendant qu'on lui répond du dehors.


Fig. 81. Coin de rivure.

Pour les petits calibres, après avoir mis en regard les trous pratiqués à l'avance dans les deux tôles, on descend avec une ficelle un rivet dans le tuyau, on passe de l'extérieur à travers le trou un crochet, à l'aide duquel on retire au dehors la ficelle, de manière à engager la tige du rivet dans le trou. Quand toutes les ouvertures sont ainsi garnies de leurs rivets, on introduit dans le tube un appareil formé de deux portions de cylindre écartées par un coin (fig. 81), de manière à remplir le vide en comprimant toutes les têtes de rivets contre la paroi. Cet ensemble sert alors d'enclume pour river par l'extérieur toutes les tiges, après quoi l'on desserre le coin et l'on retire l'appareil.

On peut aussi, quand l'épaisseur le permet, visser les viroles l'une dans l'autre.

104 — Pour l'enfoncement, nous devons distinguer deux cas, suivant qu'on est obligé de soutenir la colonne, pour l'empêcher de céder trop rapidement à son poids, ou qu'il faut, au contraire, la forcer de pénétrer malgré les résistances.

Dans le premier cas, nous envisagerons encore à part les petits et les grands diamètres. Pour un tuyau étroit, on coiffe son sommet d'un *manchon à joint de baïonnette* (fig. 82), qu'on lui assemble

d'une manière provisoire. Une barre passée dans le joint (fig. 83), le réunit aux chaînes du chevalement, à l'aide desquelles on soutient tout le système. On le serre alors dans une forte mâchoire (fig. 84), placée en guise de clef de retenue, afin de permettre de détacher le manchon, et d'assembler une nouvelle virole. Celle-ci étant de nou-

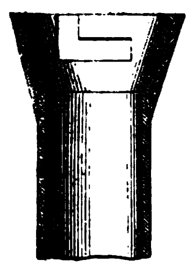
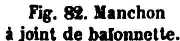



Fig. 82. Manchon à joint de baïonnette.

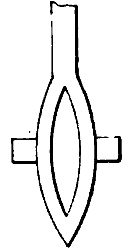


Fig. 83. Suspension du tubage.

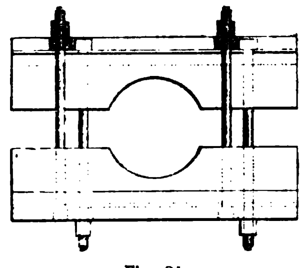


Fig. 84. Frein de retenue.

veau coiffée avec le manchon, on mollit sur les freins, de manière à laisser filer le tubage.

Pour les grands diamètres, on dispose un nombre suffisant de semblables mâchoires de serrage, auxquelles on adjoint un appareil de sensibilité destiné à avertir, pour guider le desserrage, du moment décisif où l'on approchera de la mise en liberté de cet énorme poids. Ce dernier atteint parfois, en effet, plusieurs centaines de tonnes, et l'on ne doit sous aucun prétexte lui laisser acquérir une vitesse sensible. Le système se trouve à cet effet suspendu sur des tiges, communiquant avec des manivelles par des répétitions de vis sans fin, qui réduisent dans un rapport très considérable l'effort transmis. Il devient alors possible de lui opposer la force des hommes agissant sur ce treuil, toujours avec le secours des serre-freins, et de guider ainsi ces derniers au commandement pour leur desserrage, d'après la sensation de l'effort auquel on résiste sur les manivelles.

105 — Si, au contraire, le sol s'oppose à l'enfoncement, on appliquera un effort additionnel sur la tête de la colonne, préalablement coiffée d'un tampon de bois afin de prévenir sa détérioration. On

peut pour cela procéder par choc ou par pression. Or la chute d'un mouton est de nature à déterminer des déformations désastreuses, car le corps choqué se trouve ici placé par sa forme, à la fois creuse, mince et allongée, dans les plus mauvaises conditions, quant à la répartition des travaux moléculaires. De plus, les vibrations se communiquent au terrain, qu'elles ébranlent. Elles détachent des grains de sable qui se coincent entre la paroi et le tube, dont elles augmentent encore le frottement. On doit donc préférer l'emploi d'une pression continue.

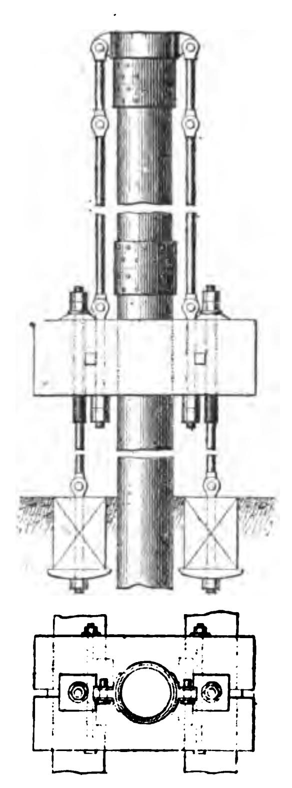


Fig. 85 et 86. Presse de tuba e (plan et élévation).

A cet effet (fig. 85, 86) on passe dans le chapeau de bois des vis, dont le point d'appui est pris sous un plateau qui supporte la charpente du chevalement, et même des massifs additionnels de maçonnerie si cela devient nécessaire.

106 — *Réenfoncement d'une colonne.* — On a souvent besoin de procéder, au bout d'un certain temps, au réenfoncement du tubage, quand la suite du sondage révèle une nouvelle passée ébouleuse, au delà du point où il avait été arrêté.

On peut, à la vérité, l'éviter, en coulant dans l'intérieur du premier tube une seconde colonne, d'une hauteur suffisante pour la nouvelle partie dangereuse, sans même revêtir la travée intermédiaire qui n'en a pas besoin. Ce moyen reste, dans tous les cas, comme une dernière ressource, si le premier tubage refuse absolument de descendre. Mais, comme il est très fâcheux de rétrécir ainsi le diamètre, on ne s'y résigne que difficilement. Pour ce motif, certains sondeurs n'hésitent pas à tuber sans discontinuité jusqu'à la surface, des parties qui ne le nécessiteraient pas par elle-mêmes, au-dessus de la

portion ébouleuse, afin de se trouver mieux à portée d'agir ultérieurement sur la colonne, s'il devient nécessaire de la pousser en avant.

107 — Les moyens employés pour effectuer le réenfoncement sont identiques à ceux qui viennent d'être décrits pour la première descente, après toutefois que l'on a pu détruire au-dessous de la colonne une couronne de rocher égale à son épaisseur. Il reste donc à faire connaître le procédé qui permet d'y parvenir.

On se sert pour cela de l'*élargisseur* (fig. 87), instrument capable de se replier sur lui-même pour descendre dans le tube, et de se développer ensuite sur un diamètre plus grand, une fois qu'il a dépassé la base de la colonne, pour attaquer la roche en remontant, au moyen de gouges. A cet effet, indépendamment des deux lames de ciseaux vissées à l'extrémité de la tige, on descend, au bout d'une cordelette, un système formé de trois pièces : 1° un anneau embrassant les ciseaux pour les obliger à se rapprocher lorsqu'on l'abaisse, en leur permettant au contraire de s'écarter quand on le remontera, s'ils y sont d'ailleurs sollicités; 2° une navette adaptée au-dessous de cet anneau, de manière à pouvoir se glisser entre les deux lames, les forçant de s'écarter quand on la tirera vers le haut, et leur permettant de se refermer lorsqu'on l'abaissera; 3° une masse suspendue à la cordelette, à une petite distance au-dessus des montants de l'anneau.

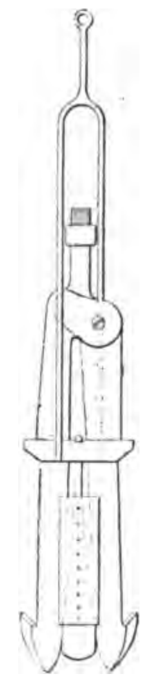


Fig. 87.
Élargisseur.

Le tout est descendu, après que l'on a serré l'anneau. Pour déployer l'élargisseur, quand il est arrivé au-dessous du tube, il suffit de tirer sur la cordelette. Pour le refermer, au moment où l'on veut le ressortir, on sonne avec cette corde, de manière à laisser tomber le mouton sur la tête des montants,

108 — *Arrachage d'une colonne.* — On peut également avoir à procéder à la dépose des tubes, s'ils sont ovalisés par la pression, percés par l'oxydation, ou déchirés par les instruments, si l'on veut élargir le trou de sonde, ou l'abandonner définitivement, en retirant, s'il est possible, le tube, pour utiliser sa valeur comme vieux fer.

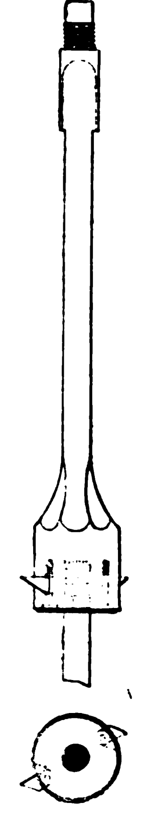


Fig. 90 et 91. Coupe-tuyaux (plan et élév^{on})

On emploie à cet effet pour saisir en dessous la colonne le *crochet élargisseur* (fig. 88), susceptible de se rétrécir ou de s'épanouir comme l'appareil précédent; ou encore l'*arrache-tuyaux* appelé aussi *navette* (fig. 89). C'est une sorte de fuseau adapté à l'extrémité de la tige. Il n'atteint pas tout à fait le diamètre du tube. Un cylindre, ouvert par ses deux extrémités, a été enfilé sur sa tige, avant qu'on la vissât à la sonde. On l'a rempli de sable ou de gravier, et attaché à une cordelette que l'on descend avec tout le système sans la raidir. Quand la navette est parvenue près de la base de la colonne, on tire sur la corde. Le cylindre s'enlève, et le gravier s'écoule tout autour du fuseau. En soulevant la tige, on le coince de toutes parts, et son arc-boutement rend le glissement impossible. Il suffit alors d'effectuer de bas en haut des abatages, ou d'exercer avec le moteur une traction continue suffisante pour remonter le tube adhérent à la sonde.

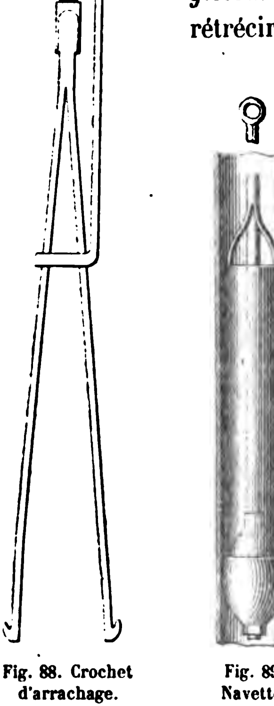


Fig. 88. Crochet d'arrachage.

Fig. 89. Navette.

109 — Si l'on ne réussit pas à sortir d'un soul coup toute la colonne, il reste la ressource de la découper en plusieurs tronçons, dont chacun offrira moins de résistance. On les enlèvera ensuite successivement, en commençant par la partie supérieure.

On emploie pour cela le *coupe-tuyaux* (fig. 90 et 91), dont les burins font saillie en se piquant dans le métal, quand on tourne dans un certain sens, tandis que, par la rotation inverse, on les fait rentrer dans leur logement afin de retirer l'appareil.

§ 7

ACCIDENTS

110 — L'ensemble des opérations précédentes constitue la marche normale d'un sondage. Mais il s'en faut de beaucoup qu'un forage un peu prolongé se développe d'une manière absolument régulière, et sans aucun dérangement. Les accidents y sont fréquents, et l'art du sondeur doit faire face à toutes les difficultés qui se présentent. Elles peuvent du reste varier indéfiniment, et nous devrons nous borner ici à indiquer celles qui se présentent le plus fréquemment.

C'est, en premier lieu, la *déviation du trou de sonde*. Bien des causes peuvent la provoquer, parmi lesquelles, l'inclinaison du pendage des couches, de la schistosité, des failles rencontrées. Dès que l'on s'aperçoit de cette irrégularité, il faut, sans retard, bourrer toute la partie dérangée, à l'aide de silex pilonnés avec le casse-pierre, de manière à constituer une sorte de roche artificielle, à travers laquelle on reprend ensuite le forage avec beaucoup de soin.

La *remontée par le bas de sables coulants* constitue une sorte de source indéfinie que l'on ne parviendrait jamais à épuiser, et dont le débit risquerait en outre d'affaiblir et de disloquer les parois. Il faut alors enfoncer un tube au-dessous de la partie coulante, pour en isoler le sondage.

Le *coincement d'un outil* dans le trou demande que l'on varie les efforts, en employant des rotations, de petits ébranlements et, quand on croit le moment venu, de grands abatages de bas en haut avec la coulisse d'Œynhaussen. On prendra soigneusement ses précautions pour que ces secousses ne puissent déterminer une rupture de tiges, qui aggraverait considérablement la situation. On ne doit rien donner au hasard. Il faut raisonner chaque mouvement avec la plus grande patience.

111 — La *rupture de la tige* constitue l'un des accidents les plus graves. Elle a retardé de deux années M. Mulot dans le forage du puits de Grenelle. Une rupture de trépan a même amené l'abandon du sondage de la Mouillelonge (Saône-et-Loire) après six mois d'efforts, lorsqu'on était déjà arrivé à 920 mètres, et que des empreintes houillères indiquaient l'approche du but de la recherche.

Le premier soin doit être d'apprécier, d'après l'inspection du tronçon que l'on a ressorti, la longueur de la rallonge brisée dans le trou de sonde. Si la rupture a eu lieu près de l'assemblage inférieur, on passera au-dessous de ce dernier la *caracole* (fig. 92 et 93), sorte de virgule horizontale, que l'on tourne autour de la rallonge intacte, de manière à ce qu'elle se trouve insérée dans le fond de la spirale. Quand on retire celle-ci, elle saisit l'emmanchement, sans lui permettre de passer au travers, et elle enlève le tout.



Fig. 92 et 93.
Caracole
(plan et élévation).

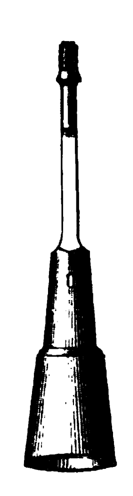


Fig. 94.
Cloche à écrou.

Si, au contraire, la rupture a eu lieu près de l'emmanchement supérieur, on ne pourrait plus agir de même, attendu que ce long tronçon, d'une verticalité mal assurée, irait se piquer dans la paroi. On descend alors la *cloche à écrou* (fig. 94), formant une sorte d'entonnoir renversé, avec lequel on cherche à coiffer la tige brisée. Cette cloche est filetée intérieurement. Le filet de vis est aciéré et bien coupant, de manière à faire prise dans le fer doux de la tige, quand on tourne l'instrument sous une forte pression. L'union des deux corps une fois opérée, on enlève avec précaution tout l'ensemble.


Fig. 95. Accrocheur à pinces.

L'*éboulement* est toujours un retard fâcheux, et de plus il détériore les parois. Mais il prend encore plus de gravité, s'il survient pendant que la sonde est engagée dans le trou, car il entrave absolument sa sortie. Il faut, dans ce cas, démonter la tige progressivement, en dévissant l'une après l'autre les rallonges au moyen de rotations inverses. On les saisit pour cela avec l'*accrocheur à pinces* (fig. 95). Ses griffes, dans leur état naturel, restent écartées en raison de leur élasticité, ce qui permet de chercher la tige et de l'insinuer entre elles. Quand on pense l'avoir rencontrée, on fait descendre pour la saisir l'anneau de serrage, ainsi qu'il a été expliqué à l'occasion de l'élargisseur (nº 107). Au fur et à mesure que l'on a retiré une rallonge, on vide la hauteur correspondante avec la cuiller. En outre, dès qu'on le peut, on descend un tube, pour prévenir de nouveaux éboulements.

112 — La *perte d'un objet* métallique dans le trou est un des accidents les plus fréquents, et qui, parfois insignifiants, peuvent également entraîner les plus graves conséquences.

Il se peut que l'on connaisse d'avance l'objet, pour l'avoir vu

tomber. Dans le cas contraire, on n'est averti de sa présence que par l'état du trépan, quand on le sort. Pour savoir alors en présence de quel obstacle on se trouve, on descend un tampon de terre glaise pétrie avec du chanvre et de l'huile, afin de prendre en creux le moule du fond. Si l'empreinte n'est qu'approximative, on peut en compléter les indications, car le directeur d'un sondage doit avoir par devers lui le dessin exact et les dimensions précises de toutes les pièces qu'il emploie, afin de pouvoir s'y référer en cas de perte, et éclairer d'autant la situation [1].

Quand l'objet est resté libre, on réussit quelquefois à le retirer en bourrant de l'argile dans le fond, pour qu'il s'y incruste, et remontant une *carotte* avec la cuiller.

S'il n'est que faiblement adhérent, on pourra agir de même, après l'avoir remis en liberté à l'aide du *râteau*, sorte de fourche à pointes multiples que l'on fait pivoter sur son axe, de manière à labourer circulairement le fond.

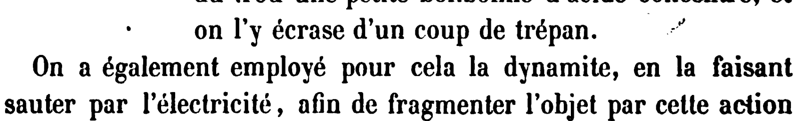


Fig. 96.
Tire-bourre.

Si la consistance du corps s'y prête, on y fait pénétrer le *tire-bourre* (fig. 96). Cependant cet outil tend à disparaître, car on peut craindre de le voir s'ouvrir sous la pression et refuser ensuite lui-même de remonter.

Quand la forme de l'objet le permet, on cherche à le saisir avec l'accrocheur à pinces (fig. 95).

Si enfin l'on désespère de le retirer, on entreprend de le détruire sur place, soit avec des outils appropriés, soit avec des acides, quand la roche n'est pas elle-même trop susceptible d'en ressentir l'action corrosive. On descend pour cela au fond du trou une petite bonbonne d'acide concentré, et on l'y écrase d'un coup de trépan.



On a également employé pour cela la dynamite, en la faisant sauter par l'électricité, afin de fragmenter l'objet par cette action

[1] Lippmann, *Petit traité du sondage*, p. 11.

irrésistible [1]. Ajoutons, à cette occasion, que l'emploi de cet explosif tend à s'introduire, même dans le travail normal, pour faciliter l'action du trépan sur des roches trop dures.

Enfin, quand on a épuisé sans succès toutes les ressources, il reste à faire une dernière tentative, en cherchant à refouler l'objet nuisible dans l'épaisseur de la paroi, de manière à laisser libre la section du trou pour le passage des outils.

§ 8

SONDAGE AU DIAMANT

118 — L'art du sondeur s'est enrichi dans ces derniers temps d'une méthode nouvelle et très précieuse : le *sondage au diamant* [2], qui a pris l'essor le plus rapide. Il donne d'excellents résultats quand certaines conditions se trouvent réunies : roches particulièrement dures, section très faible, de moins d'un décimètre, ou du moins très modérée, nécessité de réaliser une grande rapidité sans trop regarder à la dépense. Le procédé se prête médiocrement au forage des poudingues et des conglomérats, formés de noyaux durs enclavés dans une pâte molle. Il ne convient plus du tout dans l'argile. Pour une telle traversée, on substitue au perforateur diamanté une tarière ordinaire.

On emploie des diamants noirs, ou des diamants défectueux rejetés par la joaillerie. Ils pèsent en moyenne deux carats, et coûtent environ 40 francs le carat. On les dispose sous la base, et quelques-uns sur la circonférence d'une pièce métallique appelée *bit*. On peut les y adapter soit par sertissage, comme dans la bijouterie, soit en les forçant à la presse hydraulique dans une petite fente, soit, avec le procédé Taverdon, en les enrobant dans du métal

(1) CRM, 1883, p. 182, Brunet.

(2) Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 451. — Lodin et E. Gruner, *Annales*, 7e, VII, 479. — Major Beaumont, *Rev. univ. d. m. et u.*, XXXV, 576. — Loriol, *Bull. min.* (congrès de Saint-Étienne), p. 78, et *CRM*, 1875, 8. — Dupont, *Annales*, 7e, VIII, 154. — Lecornu, *Annales*, 7e, XIV, 333. — Baure, *Annales*, 7e, XVI, 209 à 228. — *Travaux de forage exécutés par la continental diamond rock boring Company*, Leipsick, 1879.





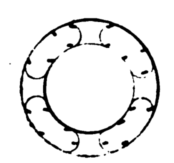


Fig. 97 et 98. Bit creux (plan et élévation).

déposé au moyen de la galvanoplastie, et au sein duquel ils se trouvent complètement noyés. Ce métal s'use rapidement, met à découvert les pointes de diamant, et dès lors son usure cesse, le métal restant dorénavant préservé par la saillie des diamants.

114 — Le bit présente deux variétés. Le bit *plein* use la roche sur toute sa superficie. Il a, d'après cela, le double défaut de ne fournir comme indication que des matières pulvérisées sous forme de farine, et, en outre, d'effectuer le maximum du travail de désagrégation. En revanche, il permet un enfoncement indéfini, sans qu'il soit nécessaire de le ressortir.

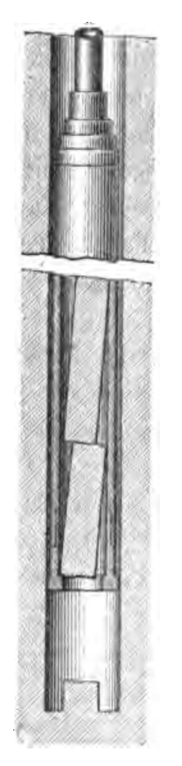


Fig. 99. Tube carottier.

Le bit *creux*, au contraire (fig. 97 et 98), ne porte de diamants que sur une surface annulaire. Le forage s'effectue donc en laissant subsister, suivant l'axe, une colonne de rocher appelée *carotte* ou *témoin*, qui se loge dans le centre du bit, au fur et à mesure que celui-ci s'abaisse. Parfois ce dernier est à gradins, et porte des diamants sur deux ou trois couronnes concentriques.

Le bit, dont la hauteur est à peu près égale à son diamètre, se visse à l'extrémité d'un *tube carottier* (fig. 99), d'une section presque égale à celle du trou, et d'une longueur qui peut atteindre jusqu'à 8 mètres, afin de permettre un forage plus prolongé sans qu'il soit nécessaire de ressortir la sonde. Le témoin y prend place dans toute sa longueur. Vers la fin, on laisse déposer les farines en arrêtant le courant d'eau dont nous parlerons tout à l'heure; on imprime une rotation rapide, qui coince ces poussières et brise le témoin à sa base. Le cran qui

se trouve à la partie inférieure, retient le cylindre, et permet de le remonter à la surface, où il fournit pour l'examen les indications les plus complètes.

115 — Le tube carottier s'adapte lui-même à l'extrémité de la tige de sonde, formée de rallonges qui atteignent 16 mètres de longueur. Cette tige est creuse, de manière à ce qu'on puisse déterminer dans son intérieur un écoulement d'eau, qui arrive à la base du forage, passe à travers des trous pratiqués à la base du bit, et remonte dans le vide annulaire qui entoure la tige, dont le diamètre est notablement moindre que celui du trou. Ce courant, s'il est assez rapide, enlève les farines jusqu'à la surface ([1]). On l'obtient en développant une pression de quelques atmosphères à la

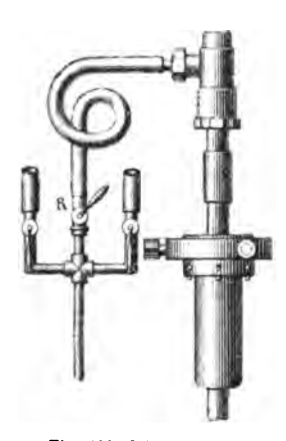


Fig. 100. Joint souple.

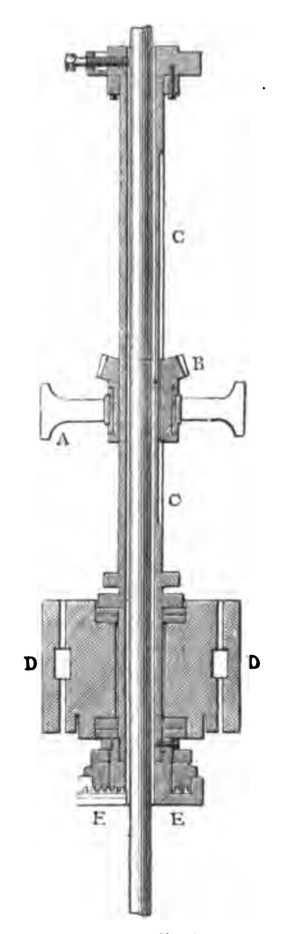


Fig. 101. Knill.

([1]) Il convient de reporter le mérite de ce principe à M. Fauvelle, qui l'avait appliqué avec un certain succès, longtemps avant l'introduction des diamants comme outil d'attaque. Cette dernière innovation a donné à ce procédé une efficacité complète, en réduisant uniformément au minimum de dimensions les matières que l'eau est chargée d'entraîner.

tête des tubes, sans toutefois l'exagérer au delà du nécessaire, si le terrain présente des parties meubles susceptibles de s'affouiller. On détermine cette pression à l'aide d'une ou deux pompes foulantes, qui envoient l'eau à travers le robinet R (fig. 100) et un joint souple, destiné à pouvoir suivre la tête de la knill pendant son abaissement.

La *knill* est l'organe de mise en mouvement de la sonde (fig. 101). Elle est guidée au moyen d'un palier fixe A, dans lequel tourne un collier muni d'une roue d'angle B qui reçoit du moteur une rotation de 300 à 400 tours par minute. Ce collier est traversé à prisonnier par le corps de la knill C. Il lui imprime donc le mouvement de rotation, en permettant en même temps son abaissement longitudinal pour suivre l'avancement. Un palier mobile D l'accompagne, guidé par des montants fixes. A sa base, une rondelle E est munie de griffes qui pincent la tige, pour lui communiquer le mouvement, mais que l'on peut desserrer pour la lâcher, et remonter la knill à l'aide d'un contrepoids sur une longueur égale à son excursion, quand elle est à bas.

§ 9

SONDAGE A LA CORDE

116 — Si l'on remonte aux origines historiques de l'art du sondeur, on y trouve un procédé, souvent repris dans ces derniers temps ([1]), mais pourtant très délaissé aujourd'hui, ou plutôt restreint à des circonstances toutes spéciales pour lesquelles il peut rendre d'utiles services. C'est la méthode du *sondage à la corde*, qui a produit en Chine des résultats remarquables, et qu'on appelle pour cette raison *sondage chinois*.

On substitue alors à la tige rigide et démontable un câble en chanvre ou en fil de fer, que l'on enroule ou déroule à l'aide d'un treuil.

On y trouve l'avantage d'alléger beaucoup le poids de la sonde;

([1]) Par MM. Corberon, Fromann, Goulet, Guilrand, Jobard, Selligne, Sello. M. Lechatelier a publié une *Notice* sur ce sujet en 1852.

d'éviter le temps perdu par les montages et démontages de la tige, bénéfice qui s'accroît naturellement avec la profondeur ; de supprimer une partie du personnel nécessaire, et d'éviter la construction d'un chevalement élevé, devenu alors inutile.

En revanche, on rencontre l'inconvénient de l'extensibilité du câble, qui croît avec la profondeur et supprime toute précision dans l'action, surtout lorsqu'il s'agit de remédier à un accident. On perd la faculté d'exercer des efforts de rotation. Enfin la rectilignité est beaucoup moins assurée qu'avec les tiges guidées.

En fait, on n'emploie plus aujourd'hui le sondage à la corde seul que pour de très faibles profondeurs. Mais, même pour les plus grandes, on peut trouver utilité à s'outiller à la corde en même temps qu'à la tige, pour gagner du temps par ce procédé, dans des passées spéciales pour lesquelles il se trouvera convenir. Nous avons vu, notamment (n° 82), que l'emploi du câble peut être utilement substitué à celui des tiges pour le curage avec la cloche à soupape.

§ 10

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

117 — *Vitesse.* — L'avancement en vingt-quatre heures est extrêmement variable, lors même qu'on le dégage de l'influence des accidents exceptionnels, qui sont de nature à occasionner de longues interruptions. On peut, avec le procédé ordinaire, compter sur $1^m,00$ ou $1^m,50$, ou même $1^m,75$, dans un terrain houiller facile, pour des sondages de recherches. Ce chiffre s'abaissera bien entendu beaucoup moins s'il s'agit du fonçage d'un puits à grand diamètre (n° 354). On y doit voir, d'ailleurs, moins une constante qu'une fonction de la profondeur ; car il décroît, pour un diamètre donné, au fur et à mesure que la hauteur augmente, à cause de la complication des manœuvres.

La rapidité augmente considérablement avec le procédé du sondage au diamant. Les moyennes précédentes ne forment plus alors qu'un minimum. On obtient souvent un avancement moyen de

5 mètres, tout compris. On a même atteint exceptionnellement pour cette moyenne 15 mètres, pendant toute la durée du forage de Wallaf (Suède). Le chiffre de 33 mètres en vingt-quatre heures a été réalisé, pour une journée spéciale, par M. Schmidtmann; et enfin l'on est arrivé dans le South-wales à soutenir pendant près d'une demi-heure une vitesse d'environ un millimètre par seconde.

118 — *Prix de revient.* — Il est encore plus difficile de préciser le prix de revient, lors même que, sortant des généralités, on s'occupe d'établir un projet déterminé. Nulle matière, en effet, ne prête plus à l'imprévu. On n'aurait même pas intérêt, dans un traité passé avec un entrepreneur, à fixer complètement trop de points. Ce dernier y chercherait en effet, et ce serait bien légitime, à se couvrir contre les plus mauvaises chances, et, les conventions une fois faites, on n'aurait plus à bénéficier des circonstances favorables. Il est raisonnable, en pareil cas, de dégager au contraire l'entrepreneur des pertes susceptibles d'augmenter en quelque sorte sans limites, et de l'intéresser d'avance à la rapidité de l'exécution par des primes convenues, si certaines profondeurs sont atteintes à des époques déterminées. On peut fixer une allocation mensuelle pour l'usage du matériel, et la rémunération du personnel spécial envoyés sur place par l'entrepreneur, en lui fournissant en régie des manœuvres pris dans la localité, suivant les besoins variables de l'opération.

Si l'on veut cependant donner une idée du prix de revient par quelques indications générales, on peut dire qu'il se tient en général entre 200 et 400 francs par mètre courant, pour des profondeurs totales de 200 à 500 mètres. Mais ce chiffre augmentera ordinairement avec la profondeur. Cependant il peut y avoir à cette règle des exceptions, car le sondage de Sperenberg a été poussé jusqu'à 1272 mètres, avec un prix moyen de 171 fr. 80 par mètre, qui s'abaisse même à 167 fr. 30, si l'on en défalque la valeur conservée par le matériel après la fin des opérations.

Dans le bassin du Nord, la maison Lippmann traverse généralement le terrain crétacé pour 50 francs le mètre pendant les 100 premiers mètres et 80 francs pour les 100 suivants; et le terrain houiller pour 120 francs pendant les 100 premiers mètres et

150 francs pour les 100 suivants, en augmentant ensuite de 20 francs le prix du mètre courant par chaque centaine de mètres.

Pour le sondage au diamant, la Compagnie Schmidtmann a souvent traité sur les bases suivantes : 250 francs le mètre pour les 400 premiers mètres, 425 francs pour les 100 suivants, 630 francs pour la centaine suivante, et ensuite en augmentant de 105 francs le prix du mètre courant pour chaque centaine de mètres. La Compagnie minière doit en outre fournir à l'entrepreneur les bâtiments, la force motrice, l'eau d'alimentation et le tubage.

Un chevalement de 12 à 13 mètres, avec les constructions qui l'accompagnent, peut coûter de 5000 à 7000 francs, dont un quart environ pour le premier et les trois quarts pour la baraque. L'équipage de sonde proprement dit atteint 2500 francs pour des profondeurs de 30 à 60 mètres; 8000 francs aux environs de 100 mètres; 18 000 à 20 000 francs pour des recherches telles que celles du Pas-de-Calais.

Il est toutefois nécessaire de répéter, en terminant, que nous rencontrerons peu de matières pour lesquelles les chiffres soient susceptibles d'autant d'élasticité, en raison des variations et des inconnues qui pèsent sur l'opération du sondage.

CHAPITRE VI

APPLICATIONS DU SONDAGE

—

§ 1

RECHERCHE DES GITES MINÉRAUX

119 — Nous avons consacré le chapitre précédent à l'étude des procédés du sondage, envisagé en lui-même. Nous arrivons maintenant à la description de ses applications. Elles sont nombreuses et peuvent se ranger sous trois titres généraux : 1° recherche des gîtes minéraux; 2° travaux exécutés dans les mines; 3° exploitation spéciale des gîtes liquides, gazeux ou solubles.

La recherche à l'aide du sondage doit être limitée en principe aux couches homogènes. Un amas irrégulier, ou un filon métallique, en raison de leur variabilité d'allure ou de composition, risqueraient de passer inaperçus, au moment où le forage les traverserait.

Un premier moyen d'informations sur la composition du terrain consiste à recueillir avec soin les débris ramenés par la sonde. On les lave et l'on examine les fragments, en observant les poussières fines à la loupe et au microscope.

Pour obtenir des données plus complètes, on retire des témoins, comme nous l'avons déjà vu pour le sondage au diamant. Cette opération peut, du reste, s'exécuter aussi avec les procédés ordinaires.

120 — A cet effet, on commence par orienter le témoin, afin

de juger de la direction et du pendage de la stratification. On descend pour cela un *trépan excentrique*, dont le corps ne porte qu'une seule lame, fixée à l'une de ses extrémités. On le place dans le plan du méridien astronomique, la lame marquant le Nord; et on le descend, en empêchant toute déviation au moyen d'une moise. Quand l'outil touche le fond, on bat plusieurs coups sans tourner. Après l'extraction du témoin, on retrouvera la marque ainsi imprimée sur la roche, pour désigner le point le plus septentrional de ce cercle.

On descend ensuite un *découpeur* (fig. 102 et 103), destiné à isoler du massif une colonnette centrale, analogue à la carotte réservée par le bit creux. Cet instrument consiste en une couronne qui porte des trépans sur toute sa circonférence, et avec laquelle on bat comme à l'ordinaire.

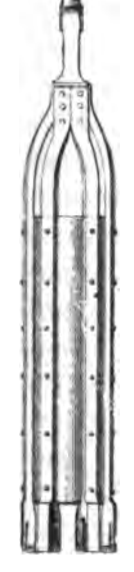




Fig. 102 et 103. Découpeur (plan et élévation).

On effectue le curage à l'aide d'une couronne semblable, munie de petites cloches à soupapes assez étroites pour s'introduire dans le vide ainsi pratiqué.

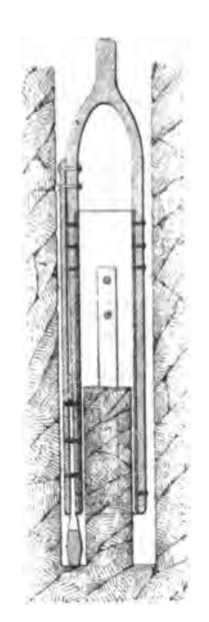


Fig. 104. Emporte-pièce.

On engage enfin l'*emporte-pièce* (fig. 104). Il est formé d'un cylindre, muni d'un coin latéral maintenu entre deux parties qui font ressort. En laissant tomber lourdement le poids, on force le coin dans son logement, ce qui éclate la base du témoin et comprime ce cylindre de manière à permettre de le retirer.

L'extraction des témoins se modifie dans certains cas particuliers. La sonde du tourbier, par exemple, est une petite tarière que l'on enfonce en tournant,

et que l'on arrache ensuite, de manière à ramener entre ses spires des échantillons du sous-sol.

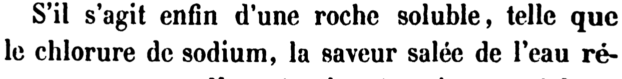
Pour la recherche des minerais de fer superficiels, on emploie une sonde pointue que l'on enfonce à force, en refoulant latéralement le terrain. Quand on retire l'instrument, un bourrelet qui surmonte la pointe, ramène au-dessus de lui une petite ceinture de terre, propre à renseigner par sa couleur sur la nature du fond que l'on a rencontré.

Pour la recherche de l'or dans les dépôts qui forment le fond des cours d'eau, on peut se servir de la *pipette Bazin* (fig. 105). Elle se compose d'une capacité ovoïde, fixée au bout d'un manche creux que l'on enfonce dans le terrain détrempé, en tenant son orifice inférieur fermé par une boule. Quand l'instrument est parvenu à une certaine profondeur, on déplace cette boule en la tirant avec une ficelle. La pression détermine alors l'engouffrement de l'eau, avec une partie des matières environnantes, tandis que l'air s'échappe par un tube de caoutchouc que l'on ouvre en même temps. On retire alors le tout, après avoir remis la boule en place et refermé le robinet de ce dernier tube, pour que la pression atmosphérique aide à maintenir les matières dans l'intérieur.



Fig. 105.
Pipette Bazin

Dans un autre type, M. Bazin isole la pipette de son manche. On la descend au bout d'un tube flexible. Lorsqu'en ouvrant le robinet supérieur, on détermine l'entrée des matières, l'affouillement ainsi produit provoque l'enfoncement spontané de la pipette à une petite profondeur; mais la prise d'essai est alors plus superficielle qu'avec le mode précédent.



S'il s'agit enfin d'une roche soluble, telle que le chlorure de sodium, la saveur salée de l'eau révèlera sa présence, pourvu que l'on réussisse à retirer un échantillon de cette eau. En l'évaporant à siccité, on pourra également

soumettre le résidu à l'analyse. Pour se procurer ce spécimen, on descend une petite cloche à soupape à joint bien étanche. On sonne, jusqu'à ce que l'on soit sûr d'avoir expulsé le liquide préalablement contenu, pour le remplacer par celui du fond. Si alors on remonte doucement, cette eau n'aura pas de tendance à se mélanger avec celle des couches traversées et atteindra le sol à l'état de pureté.

121 — Tous les échantillons recueillis sont classés dans une collection géologique, dressée avec le plus grand ordre et cataloguée avec soin. Il est bon, pour prévenir toute erreur de déplacement, de marquer la cote de profondeur, à la fois sur la boîte qui contient les matières et sur les fragments eux-mêmes, quand leur volume permet cette inscription.

On a soin également de tenir un journal du sondage, relatant minutieusement toutes les circonstances qui se présentent, dans l'ignorance où l'on se trouve pour discerner celles qui, actuellement insignifiantes, pourront prendre par la suite de l'intérêt en raison des questions qui viendront à surgir.





Fig. 106 et 107.
Vérificateur de sondage (plan et élévation).

Si, plus tard, ce journal n'est pas suffisamment explicite, et qu'il y ait lieu de revenir sur l'exploration d'un point donné, on emploiera à cet effet le *vérificateur de sondage* (fig. 106 et 107). Il porte deux virgules qui, par la rotation, se piquent dans la paroi en grattant la roche, de manière à en laisser tomber les débris dans une poche placée au-dessous pour les recueillir. En tournant en sens contraire, on fera rentrer les grattoirs dans le corps de l'instrument et l'on pourra ressortir l'appareil. On se renseignera ainsi sur ce qui se trouve à une profondeur déterminée, en donnant à la sonde exactement cette longueur.

§ 2

TRAVAUX DES MINES

122 — La pratique courante des travaux souterrains d'une mine en activité comporte un grand nombre d'applications du sondage. Nous les énumérerons ici, en nous réservant de revenir plus tard sur les plus importantes, à l'occasion du genre de travaux, ou de dangers, auxquels elles se rapportent, lorsque cette étude se présentera dans la suite de ce cours.

Quand une exploitation se poursuit au milieu d'anciens travaux mal connus, qui ont légué à l'époque actuelle des réservoirs menaçants d'eaux souterraines, le mineur doit éclairer sa marche au moyen de coups de sonde percés à l'avancement, et obliquement sur les deux ailes [1]. Cette opération délicate nécessite de grandes précautions, surtout au moment où il s'agit définitivement de *percer aux eaux*. Nous les décrirons en détail à l'occasion des coups d'eau (chap. XLVIII).

On se sert également du même procédé pour se préserver de la rencontre subite de réservoirs de grisou ou de mofettes irrespirables, et pour atténuer les dangers de cette rencontre.

Parfois aussi, dans ce même ordre d'idées, on emploie des coups de sonde pour *saigner* méthodiquement le massif de houille, en lui faisant rendre la plus grande partie de son gaz avant de procéder à son abatage en masse.

Les trous de sonde peuvent encore être utilisés pour faire communiquer avec un étage supérieur le sommet d'un quartier formant *cloche*, afin d'éviter que le grisou ne s'accumule à ce point maximum, en raison de sa faible densité. Il est clair, d'ailleurs, qu'en raison de la faiblesse du diamètre, cette opération ne doit être considérée que comme un expédient pour des cas particuliers, et non comme un élément fondamental de l'aérage général d'une mine.

[1] Henri Glépin, *Sondages intérieurs dans les mines de houille.* (*Rev. univ. d. m. et u.*, XXX. 1.)

La même objection peut être opposée à l'emploi des coups de sonde en Westphalie, pour mettre en rapports, de distance en distance, les avancements de deux galeries jumelles percées parallèlement, à une faible distance l'une de l'autre, de manière que le courant, arrivant par l'une, retourne par l'autre, après avoir franchi le massif à travers le dernier trou de sonde, tous les précédents ayant été bouchés successivement. Cette pratique, excellente avec des galeries de recoupe (n° 371), est nettement insuffisante quand on leur substitue l'emploi plus économique de la sonde.

De même qu'un trou de sonde peut vider vers le haut une poche de grisou, de même on les affecte à évacuer dans un étage inférieur les réservoirs d'eau en vallée, de manière à éviter l'installation d'un moyen spécial d'épuisement sur ce point, en envoyant toutes ces eaux dans le puisard de l'exhaure générale de la mine.

Dans le fonçage des puits *sous-stot*, c'est-à-dire suivant la verticale d'un puits déjà en service, mais en réservant entre l'ancienne travée et le percement un stot de roche qui ne disparaîtra qu'au dernier moment, il est utile de se donner dans la profondeur l'axe du puits, en perçant un trou de sonde à travers le massif.

Nous avons d'ailleurs déjà dit, en ce qui concerne le fonçage des puits, qu'un des moyens les plus remarquables employés à cet égard, le procédé Chaudron, est fondé sur l'application directe du sondage à grand diamètre (n° 344).

On a employé les trous de sonde dans certains sauvetages, pour établir une communication avec des hommes emprisonnés par un éboulement ou un coup d'eau, dans le but de leur faire passer de l'air, et même des liquides alimentaires.

123 — Quant au procédé spécial du sondage au diamant, il figure couramment, réduit à une petite longueur, dans certaines machines perforatrices, depuis son application par Leschot au forage des trous de mines. Il convient même de dire que tel a été le point de départ de l'invention, qui depuis s'est étendue aux grandes longueurs verticales, en constituant, à proprement parler, le *sondage* au diamant.

Mais, sous cette forme même, qui est celle que nous avons décrite

en détail (chap. V, § 8), ce procédé a été appliqué pour le forage des coups de mine [1] à Pottsville (Pennsylvanie). On a foncé deux puits jumeaux, en pratiquant les trous de mine dans l'un, pendant que l'on procédait au sautage dans l'autre. On perçait dans chaque puits 25 trous de 45 millimètres, sur une hauteur de 80 à 90 mètres. Cela fait, on transportait les appareils sur l'autre puits, en remplissant tous les trous de sable. En les dégageant ensuite de proche en proche sur la hauteur ordinaire d'un coup de mine, on les chargeait et on les enflammait tous à la fois, à l'aide de l'électricité. Les déblais une fois enlevés, on préparait une nouvelle volée, en extrayant le sable sur la hauteur correspondante. Pendant ce temps, le forage au diamant s'effectuait sans interruption dans le second puits. Cette combinaison offre l'avantage d'une grande rapidité, puisque l'on y rend simultanées deux opérations qui ne peuvent être que successives, dans les conditions ordinaires. La même application a été faite, pour un puits unique, à Quakers'yard (South-wales).

§ 3

EXPLOITATION DU PÉTROLE, DU GAZ ET DU SEL

124 — *Pétrole.* — Indépendamment des applications précédentes pour l'exécution des travaux souterrains relatifs à l'aménagement des mines, le sondage peut servir pour l'enlèvement en masse de ceux des gîtes minéraux qui sont susceptibles de prendre la forme fluide, de manière à pouvoir, sous l'influence de forces naturelles ou artificielles, s'écouler tout entiers par le passage qu'on leur aura ouvert. Parfois cet état de choses existera spontanément, comme pour les puits artésiens, les sources de pétrole, les fontaines de gaz. D'autres fois on n'y arrive que par voie de dissolution préalable, comme pour le sel gemme.

Cette méthode se recommande spécialement pour les gîtes de pétrole, qu'il serait très difficile d'attaquer à l'aide de travaux sou-

[1] Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 22. — Lecornu, *Annales*, 7e, XIV, 334. — *Zeitschrift BHS*, XXIV, 169.

terrains, en raison des difficultés et des dangers spéciaux que présenteraient l'aérage et l'éclairage, bien que ces obstacles aient pu être surmontés, dans des conditions analogues, aux mines d'asphalte de Pechelbronn (Alsace).

Nulle part l'exploitation du pétrole ne présente un développement comparable à celui que l'on rencontre dans le *pays de l'huile* (Pennsylvanie) ([1]). On y pratique des trous de sonde à la corde sur 8 ou 10 centimètres de diamètre, et on les garnit de tubages percés de trous, quand la nature des parois l'exige. Ils atteignent 320 mètres de profondeur. En 1876, il y avait plus de sept mille pareils puits en activité. Les plus productifs fournissent jusqu'à 45 litres par minute. Les uns sont jaillissants, et donnent à la fois de l'huile et de l'eau. Dans d'autres, le liquide prend un niveau inférieur à celui du sol, et l'on doit employer des pompes pour l'y reprendre. On observe d'ailleurs un abaissement progressif. Certains puits, d'abord artésiens, exigent plus tard l'établissement d'appareils élévatoires. Le débit va lui-même en diminuant. On réussit quelquefois à le ranimer en repassant la sonde, ou en faisant éclater dans le fond quelques cartouches de dynamite par l'électricité.

L'huile est ainsi élevée, naturellement ou artificiellement, à un niveau où la quantité excédant celle que l'on enferme dans des barils, s'engage dans des tuyaux, à travers lesquels elle s'écoule jusqu'à la ville de Pittsburg, ou au rivage d'embarquement. On a de même, dans le Caucase, réuni les produits de diverses exploitations de pétrole, pour les envoyer dans un *pipe-line* de 80 kilomètres de longueur sur $0^m,10$ de diamètre, jusqu'au port de Novorosisk sur la mer Noire.

([1]) Daubrée, *Rapports du Jury international de l'Exposition de* 1867, V, 69. — Henry, *CRM*, juillet 1877, 16. — Gauldrée-Boileau, *Annales*, 6e, II, 95. — Heurteau, *Mémoire sur la recherche et l'exploitation du pétrole en Gallicie*, *Annales*, 6e, IX, 197. — Fuchs et Sarrazin, *Note sur les sources de pétrole de Campina* (*Valachie*). (*Archives des Sciences* de la Bibliothèque universelle, février 1873, Genève.) — E. Windakiewitz, *L'Industrie des huiles minérales en Gallicie* (*Berg und Huttenwesen Zeitung*, XXIII, 1 à 113). — Goulié et Haudoin, *Le Pétrole*, in-18. — Abich, *Sur la production et les conditions géotechniques de la région à naphte de la Caspienne* (*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, LXXXVIII, 891). — Colonel Romanowski, *La région du pétrole dans la province de Kouban* (*Circassie*). (*Journal des Mines* de Saint-Pétersbourg, avril 1873.) — Boudhinon, *Note sur les Naphtes de Bakou*, CRM, 1883, 125 et 173.

125 — *Fontaines de gaz.* — Des sources de gaz hydrogène carboné [1] accompagnent ordinairement celles de pétrole liquide. On y trouve des pressions capables de lancer à plus de 100 mètres en l'air des blocs d'une vingtaine de kilogrammes [2]. On rencontre également de telles fontaines dans certaines formations de houille ou de sel gemme. Le gaz s'échappe par des trous de sonde, au sommet desquels il brûle parfois depuis l'antiquité la plus reculée, comme au pays des Guèbres. En Pennsylvanie, il est capté et envoyé dans des conduites jusqu'à une dizaine de lieues, pour y être employé à l'éclairage de la ville de Pittsburg, au puddlage, au chauffage des chaudières et des fours de verrerie, à l'évaporation des eaux salées.

On voit des tubes concentriques, introduits dans un trou de sonde, fournir à la fois, par des travées distinctes, de l'huile et du gaz; ou encore de l'eau pure et de l'eau salée, comme au *puits magique* d'Atchison (Kansas).

126 — *Exploitation du sel par le sondage.* — Le chlorure de sodium est souvent exploité en roche, sous le nom de sel gemme, à l'aide de travaux souterrains qui constituent une mine ordinaire. Mais il peut aussi être retiré par voie d'évaporation. On l'extrait de cette manière soit des eaux de la mer, soit de sources salées naturelles, soit enfin de dissolutions opérées artificiellement, au moyen du sondage, dans les gîtes trop impurs pour pouvoir supporter les dépenses d'une exploitation souterraine, laquelle serait d'ailleurs nécessairement accompagnée d'une dissolution ultérieure, en raison de cette impureté même.

Un trou de sonde d'un diamètre suffisant rejoint alors la formation, et on le garnit de deux tubes concentriques. Dans l'un, on introduit les eaux pures de la surface. Elles se chargent de sel, et prennent leur niveau hydrostatique dans l'autre travée. En raison de l'augmentation de densité de la *saumure*, celle-ci se tiendra plus bas que l'eau pure. On la reprend donc avec des pompes, et on l'élève du même coup au-dessus du sol, à une hauteur suffisante pour que le liquide puisse ensuite, par la seule action de la pesan-

[1] Puits de gaz, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III, 140 et 502.
[2] Boudhinon, *CRM*, 1883, 175.

teur, traverser tous les appareils où se développent les diverses phases de l'évaporation.

On préfère cependant à ce procédé le forage de deux trous de sonde distincts, situés à une certaine distance l'un de l'autre. L'eau pure descend par l'un et remonte dans l'autre à l'état de saumure, après avoir traversé entre les deux la formation souterraine. On est ainsi mieux assuré de la forcer à se charger de sel, tandis qu'avec le puits unique, cette eau peut passer immédiatement d'une travée dans l'autre, sans circuler à travers les argiles salifères, pour s'y imprégner de salure par un séjour suffisant.

§ 4

PUITS ARTÉSIENS

127 — *Puits jaillissants.* — Tous les gîtes minéraux, solides ou fluides, sont limités et susceptibles d'épuisement final, plus ou moins prochain suivant l'activité du système d'exploitation auquel on les soumet. Il faut toutefois enregistrer à cet égard une exception unique, pour les *puits artésiens*. Ce sont des *gîtes d'eau*, inépuisables en réalité, car ils se renouvellent par le jeu d'une force permanente, l'insolation, qui, reprenant indéfiniment l'eau à la surface des mers, l'élève dans les nuages, d'où elle se trouve précipitée sur la surface terrestre et de là dans les conduits d'infiltration.

La connaissance des fontaines jaillissantes (1) remonte à une haute antiquité. Diodore de Tarse en mentionne l'existence en Égypte dès le quatrième siècle après J.-C. L'explication de ce curieux phénomène a été donnée en 1691 par Bernardini Ramazzini. Le nom de puits artésien dérive de celui de la province d'Artois, où ils se sont multipliés

(1) Garnier, *Traité des puits artésiens*, 1821. — Héricart de Thury, *L'Art du fontainier sondeur*, 1829. — Arago, *Notice sur les puits artésiens, Almanach du bureau des longitudes*, 1835. — Viollet, *Théorie des puits artésiens*, 1840. — Degousée et Laurent, *Guide du Sondeur*, 2e édit., 1861. — Combes, *Traité d'exploitation des mines*, I, 196. — Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 93. — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, n° 460, p. 332. — Dickinson, *Traité sur les sondages artésiens*, 1826. — Bruckmann, *Anleitung zur Anlage artesischer Brunnen*, 1838.

en raison de la configuration géologique de cette région. Le forage des puits artésiens a pris beaucoup d'importance, soit pour vivifier des contrées stérilisées par l'absence d'eau, comme le Sahara Algérien (1), soit pour venir en aide à l'alimentation des grandes villes (2) pour le captage d'eaux minérales (3), la création d'industries locales (4), ou même de force motrice (5).

128 — Supposons que, dans une contrée dont la surface topographique sera représentée théoriquement par le plan incliné A'A" (fig. 108), une couche perméable BB'B" (sable, calcaire fendillé, craie

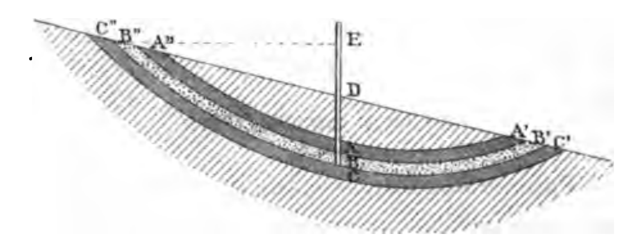


Fig. 108.

blanche, grès vert, etc.) soit comprise entre un toit et un mur imperméables (argile, marne, etc.). La partie supérieure B" des affleurements recevra les eaux atmosphériques, qui satureront cette

(1) Dans l'espace de vingt-quatre ans, de 1856 à 1880, le nombre des oasis de l'Oued-Rir s'est élevé de 29 à 37 ; le chiffre de la population, de 6672 à 12 827 ; et la valeur estimative des palmiers, de 1 300 000 à 4 127 000 francs. (*Les Oasis de l'Oued-Rir en* 1856 *et* 1880, par Jus, 1880.) — *Puits artésiens des oasis méridionales de l'Algérie*, par Berbrugger, Alger, 1851. — Fournel, *Sur la possibilité d'établir une chaîne de puits artésiens à travers le désert, entre Biskra et Touggourt.* (*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, XX, 170.) — Ville, *Annales*, 6e, V, 177, 345, 401. — Vatonne, *Annales*, 6e, IX, 333.

(2) Le puits que l'on vient de creuser à Pesth, dans ces dernières années, atteint 970 mètres de profondeur. Il fournit par jour 760 mètres cubes d'eau, à 74 degrés centigrades. (*Annales*, 7e, XV, 635 ; — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 270 ; — *Jahrbuch d. k. k. Geol. Reichanstalt*, t. XXVIII, fasc. 4.)

(3) Laur, *Sondage de Montrond.* (*CRM*, 1860, 197.)

(4) L'un des grands puits artésiens de Paris, situé boulevard de la Gare, n° 123, a été foré pour la raffinerie de M. C. Say, sur un diamètre variant de 66 à 49 centimètres et une profondeur de 580 mètres. Trois nappes jaillissantes donnent ensemble, par minute, à 9 mètres au-dessus du sol, 1400 litres d'eau, à 28 degrés centigrades.

(5) Degousée et Laurent, *Manuel du Sondeur*, 2e édit., pl. XL, fig. 2.

couche sans pouvoir s'en échapper, si ce n'est le long des affleurements inférieurs B′, où se dessinera une ligne de sources.

Si l'on vient à pratiquer en un point intermédiaire D un trou de sonde CD, en le prolongeant pour plus de clarté par un tube extérieur DE au-dessus du sol, on verra l'eau prendre dans ce tube un certain niveau E, indiquant la pression à laquelle elle se trouve soumise dans le fond D. Si l'on supposait les affleurements calfeutrés dans toute leur étendue, sauf le point le plus élevé B″ pour l'introduction des eaux du ciel, le point E, dans cet état statique, se trouverait exactement dans le plan horizontal de B″. Si alors on enlevait subitement le tube DE, l'eau jaillirait par l'orifice D jusqu'à une hauteur qui ne différerait de ce niveau que par l'influence des résistances subies par l'écoulement dans les conduits souterrains, destiné à fournir au débit de ce jet.

129 — Pour étudier ce phénomène, rappelons le théorème de Daniel Bernoulli qui régit, dans les conditions les plus générales, l'écoulement d'un filet liquide sous l'action de la pesanteur. Il consiste en ce que la fonction suivante garde une valeur constante en tous les points de ce canal :

$$(1) \qquad \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\varpi} + z + \frac{1}{\varpi}\int_0^s \frac{r}{\omega}\, ds = \text{const.}$$

s y désigne la longueur comptée sur la trajectoire depuis une origine fixe O jusqu'à un point variable M (fig. 109), z l'altitude du centre de gravité de la section du canal en ce point au-dessus d'un plan de comparaison, ω l'aire de cette section, p la pression en

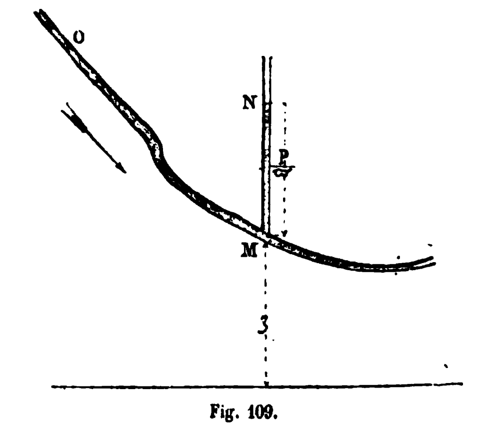


Fig. 109.

son centre de gravité, v la vitesse, r la résistance en ce point rapportée à l'unité de longueur, $\varpi = 1000$ le poids spécifique de l'eau, $g = 9,8088$ l'accélération de la pesanteur.

Je rappelle en outre l'équation de continuité :

$$(2) \qquad q = \omega v,$$

fournissant le débit q qui traverse la section dans l'unité de temps; ainsi que l'expression de la résistance :

$$(3) \qquad r = \varpi \chi f(v),$$

dans laquelle χ désigne le périmètre de la section ω, et f une fonction susceptible de diverses formes empiriques, qu'il est inutile d'énumérer ici. Son caractère essentiel est d'être croissante en même temps que sa variable.

Si l'on substitue cette valeur de r dans la relation (1), et qu'on y remplace en même temps v par sa valeur déduite de l'équation (2), il viendra :

$$(4) \qquad \left(\frac{p}{\varpi} + z\right) + \frac{q^2}{2g\omega^2} + \int_0^s \frac{\chi}{\omega} f\left(\frac{q}{\omega}\right) ds = \text{const.}$$

Cette formule détermine l'altitude $\frac{p}{\varpi} + z$ du *niveau piézométrique* N qu'attendrait l'eau stagnante, dans un tube élevé au point M, pour mesurer, à l'aide de cette colonne d'eau $\frac{p}{\varpi}$, la pression développée dans le canal en ce point. Cette altitude se trouve, comme on le voit, exprimée, pour un débit donné q, en fonction des seuls éléments géométriques du canal, à savoir : la distance s qui caractérise le point variable M, l'aire ω et le périmètre χ de la section en ce point.

130 — Élevons par la pensée un tube piézométrique sur chaque point des canaux d'alimentation qui sillonnent la nappe aquifère. Le lieu géométrique de leurs sommets dessinera la ***surface piézométrique*** du bassin, dont il nous faut envisager les relations avec les deux suivantes : la ***surface topographique*** et la ***surface aquifère.*** La seconde se trouve à ciel ouvert, la troisième est essentiellement souterraine; quant à la surface piézométrique, elle peut s'étendre au-dessus ou au-dessous du sol. Elle ne saurait rencontrer la surface aquifère, puisqu'elle en est partout séparée par la distance verticale $\frac{p}{\varpi}$ qui ne peut s'annuler, mais rien ne s'oppose à ce qu'elle coupe la surface topographique, en passant du dessus en dessous ou réciproquement. Leur ligne d'intersection prend d'après cela une grande importance. Elle répartit la carte géographique de la contrée en deux sortes distinctes de zones, que l'on peut s'y figurer comme teintées de deux nuances différentes. J'appellerai ***positives*** celles dans lesquelles la surface piézométrique s'élève au-dessus du terrain, et ***négatives*** celles pour lesquelles elle plonge au-dessous du sol. La courbe d'intersection qui les limite devient ainsi la ***ligne de partage hydrologique*** de la région, au point de vue qui nous occupe.

La conclusion est maintenant facile à formuler. Tout sondage foré dans une zone positive donnera lieu à un ***puits artésien.*** Tout sondage exécuté sur une zone négative fournira un ***puits ordinaire,*** dans lequel l'eau se tiendra à une certaine distance au-dessous du sol.

131 — Reprenons, par exemple, l'hypothèse dans laquelle la ligne d'affleurement de la couche aquifère serait calfeutrée dans toute son étendue, sauf le point le plus haut; la surface piézométrique, dans cet état de repos, se réduira au plan horizontal mené par ce point. La ligne de partage sera dès lors la courbe de niveau de la contrée pour cette cote d'altitude, et les régions positive et négative seront limitées par elle, comme l'océan est séparé de la terre ferme par un rivage horizontal.

Si maintenant nous supprimons subitement cette fermeture, ou

si l'on vient à ouvrir un ou plusieurs puits artésiens en des points intermédiaires, il s'opère dans l'ensemble une mise en mouvement. On verra naître un régime, essentiellement variable, qui ira sans cesse en s'éloignant de l'état initial, défini tout à l'heure, et tendra de plus en plus vers un certain type limite. Si cet état se trouvait une fois établi, il persisterait indéfiniment, mais, en ce moment, nous ne devons le considérer que comme un régime asymptotique.

Dans la réalité, cette conception théorique sera encore troublée par des variations étrangères, inhérentes aux saisons et qui, par le jeu des pluies, des sécheresses, des fontes de neige, viendront modifier dans une mesure importante le mode d'alimentation, et par suite le régime souterrain. On comprend donc que cet état de choses est éminemment variable, et que la ligne de partage hydrologique, au lieu de former un élément fixe de la carte, comme les lignes de faîte ou de thalweg, reste susceptible d'osciller entre certaines limites, en faisant varier avec elle les zones positive et négative dont elle établit la séparation.

Néanmoins, après avoir indiqué l'existence de ces perturbations, nous allons les écarter par la pensée, pour élucider les lois du phénomène, et nous nous supposerons parvenus à un état limite qui subsiste indéfiniment. Ces lois, fort simples, consistent dans les énoncés suivants.

132 — *Le niveau statique de l'eau dans le puits est indépendant du diamètre.*

En effet, si l'on applique l'équation (4) aux filets qui *passent* à la base du puits sans y entrer, pendant qu'on le maintient sans écoulement en le surmontant d'un tube suffisamment long, elle déterminera pour eux en ce point une certaine pression p, qui ne dépend nullement de la section de ce manomètre.

133 — *Le débit du puits, à un niveau variable au-dessus du sol, augmente si l'on abaisse l'orifice d'écoulement.*

Appliquons en effet l'équation (1) depuis une origine O quelconque prise sur un filet élémentaire, *jusqu'à l'orifice même du tube*

vertical maintenu à l'état d'écoulement à un niveau arbitraire. Quand on abaisse cet orifice en supprimant une portion du tube, on fait disparaitre une partie des éléments de l'intégrale, tous essentiellement positifs; on restreint donc sa valeur. On diminue de même z. Quant à p, il conserve la même valeur, à savoir celle de la pression barométrique, puisqu'on arrive à l'air libre. Il s'ensuit que v doit augmenter. Mais d'ailleurs ω garde la même valeur dans l'équation (2), attendu que le tube vertical est cylindrique; donc q s'accroît lui-même.

134 — *Le débit augmente avec le diamètre du puits, mais non pas proportionnellement à sa section.*

Que le débit d'ensemble augmente, si l'on agrandit le puits, ou si l'on en fore un second dans un voisinage tout à fait immédiat, c'est l'évidence même, puisqu'on ouvre ainsi un débouché plus facile, ce qui ne saurait réduire l'écoulement.

Mais ce serait une erreur de penser que si l'on double la section, on doublera par cela même le débit, comme semblerait l'indiquer l'équation (2), d'après laquelle q est proportionnel à ω, si v reste constant. Nous allons voir en effet que la vitesse v, qui se développe *dans le tube vertical agrandi*, aura diminué par le fait de cet agrandissement.

Pour le reconnaître, appliquons l'équation (1) depuis l'origine O prise sur un filet souterrain *jusqu'à un point* M *situé dans le tube vertical très près de son pied*, mais assez avant pour se trouver déjà dans la partie où le mouvement s'effectue par filets parallèles, et d'une manière uniforme d'après la constance de la section. z ne change pas quand on remplace ce tube par un plus grand, p reste égal à la somme de la pression atmosphérique qui s'exerce sur la surface libre, et du poids de la colonne hydrostatique, d'unité de section, située entre l'orifice et le pied du puits. En effet, le mouvement rectiligne et uniforme qui règne dans cette partie est soumis aux lois de l'équilibre, c'est-à-dire de l'hydrostatique. Mais l'intégrale a augmenté, comme je vais le faire voir, et dès lors il deviendra évident que v a dû diminuer au point M, ainsi que nous l'avons annoncé.

Le motif qui accroît alors la valeur de l'intégrale consiste en ce que, pour que le tube agrandi débite plus que l'ancien, il faut, puisque les canaux d'alimentation n'ont pas changé de forme, que la vitesse y augmente. Mais alors, dans chacun des éléments de l'intégrale, r prend, d'après son expression (3), une valeur plus grande, puisque v y reçoit de son côté une valeur supérieure dans la fonction f, qui est croissante.

On remarquera avec soin cette opposition dans la variation des vitesses, qui diminuent dans le tube vertical, tandis qu'elles augmentent dans les canaux souterrains.

135 — La loi d'hydrologie souterraine que nous venons d'établir prend une importance très grande, dans la question du fonçage des avaleresses qui donnent une grande quantité d'eau (n° 317). Si, en effet, après avoir garni toute la section disponible du puits des engins les plus puissants qu'il soit possible d'y concentrer, on ne parvient pas à maîtriser les eaux par une activité suffisante de l'épuisement, il reste alors la ressource de percer un second puits à une très faible distance du premier. Le débit total augmentera par là, il est vrai, ainsi, par conséquent, que les frais occasionnés par cet épuisement. Mais ce n'est pas en ce moment la question décisive. Il s'agit de franchir à tout prix le niveau aquifère. L'essentiel, à ce point de vue, est que le débit ne sera pas double du précédent, tandis que la surface de section, se trouvant doublée, permettra de doubler également la puissance des moyens d'action mis en jeu et de dominer peut-être la venue d'eau.

On doit également se pénétrer de cette vérité, en ce qui concerne le captage des eaux souterraines. Le rayon de protection des eaux thermales [1] a pour but d'empêcher qu'un forage, inconsidérément exécuté dans le voisinage d'une source artésienne qui intéresse la santé publique, n'en dérange le régime d'une manière fâcheuse. C'est pour un motif de même nature que, lorsque fut élaboré le projet de sondage artésien de la Chapelle, à Paris, on décida de traverser le grès vert avec un tubage, sans en recueillir les eaux,

[1] Loi du 14-22 juillet 1856, art. 3.

pour ne pas affaiblir le débit du puits de Passy, et d'aller à un niveau inférieur chercher des nappes aquifères jurassiques.

136 — *Le débit augmente souvent, quand on vient à tuber un puits qui ne l'était pas.*

On supprime en effet par là les pertes produites par des couches perméables, qui empruntent pour leur part une portion des eaux artésiennes soulevées par la pression inférieure.

Inversement, le débit peut baisser avec le temps si le tubage se perce par l'oxydation, en permettant par là des infiltrations dans des couches perméables adjacentes. En pareil cas, le remède consiste à retirer ce tube et à le remplacer par un autre, établi dans de meilleures conditions de durée.

Cependant on ne doit le faire qu'après s'être assuré que la diminution de débit ne tient pas à une obstruction partielle, due à un corps étranger qui serait tombé par l'orifice, ou se serait détaché d'une partie de la paroi laissée sans revêtement. Dans ce cas, au contraire, ce qu'il y aurait à faire consisterait à repasser la sonde pour détruire cet obstacle; après toutefois qu'on aurait essayé d'ébranler le corps et de le détacher au moyen de coups de bélier, que l'on détermine en ouvrant et fermant brusquement l'orifice d'écoulement.

Pour se fixer à cet égard, il suffira d'exhausser le tube de manière à y laisser l'eau prendre son niveau statique. Il est clair, en effet, que l'obstruction partielle ne saurait troubler en rien ce niveau, qui sera, par conséquent, resté le même qu'auparavant; tandis qu'une perte en route aura pour effet de l'abaisser. Si, en effet, quand on ouvre une fissure, l'eau, jusque-là immobile dans le tube, en sort pour passer à l'extérieur, c'est qu'elle y trouve une pression moindre que celle que marquait son niveau hydrostatique.

137 — *Pour les puits rapprochés de la mer, le débit peut varier aux diverses heures du jour.*

En effet, si la couche aquifère affleure sous l'océan, la colonne piézométrique qui la surmonte varie en ce point suivant l'heure de

la marée. Cette altération exerce naturellement un retentissement à une certaine distance dans les canaux souterrains, en modifiant le jeu des pressions, et, par suite, la surface piézométrique qui règle le niveau de l'eau dans les colonnes ascendantes. La ligne de partage hydrologique se déplacera donc elle-même, en balayant une certaine zone, qui appartiendra alternativement aux régions positive ou négative. Il arrivera, d'après cela, pour les puits qui se trouveraient forés dans cette bande spéciale, qu'ils deviendront, suivant l'heure, artésiens ou souterrains.

On a observé des influences de ce genre à Noyelle-sur-Mer et à l'hôpital militaire de Lille, où le puits artésien suit, à huit heures de distance, les oscillations de la marée (1).

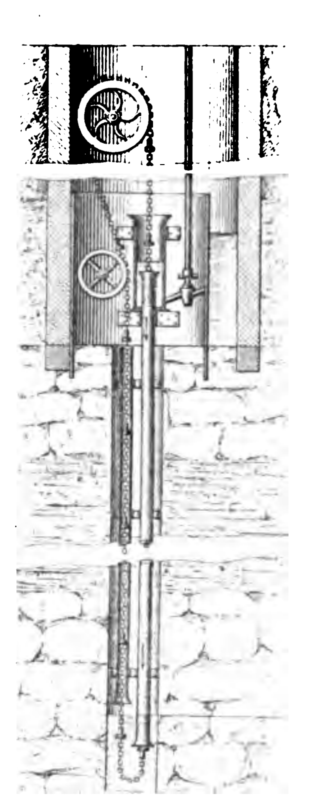


Fig. 110. Boi'out moteur.

138 — *Puits absorbants.* — Lorsque le niveau statique des puits se tient au-dessous du sol, leur usage le plus fréquent est de permettre d'y puiser de l'eau au moyen d'appareils élévatoires, ordinairement des plus élémentaires. Mais, dans le cas où le banc aquifère est nettement perméable, on peut les transformer en *puits absorbants*, en y versant des eaux gênantes de la surface, pour les perdre dans cette couche souterraine. Ces puits, que l'on appelle aussi *boitouts*, rendent de réels services; mais ils ont ordinairement une durée plus éphémère que celle des puits artésiens, les matières introduites par les eaux tendant à encrasser

(1) Vézian, *Prodromes de Géologie*, II, 657.

l'entrée des canaux élémentaires, qui jouent à leur égard le rôle de filtre (¹).

139 — On a également appliqué les boitouts à la création de forces motrices (²), à la vérité sur l'échelle la plus modeste, mais cependant de manière à rendre quelques services. Le principe consiste (fig. 110) à engouffrer des eaux de surface jusqu'à une couche absorbante, en utilisant cette chute artificielle au moyen d'un chapelet hydraulique ou d'une fontaine de Héron, disposés dans le trou de sonde. Le travail recueilli est transmis au dehors par les organes ordinaires, ou encore sous la forme d'air comprimé, si l'on emploie la fontaine de Héron.

On peut arriver ainsi, dans des exploitations agricoles, à actionner des machines à battre, ou à élever jusqu'au sol, au moyen d'un double tubage, des eaux meilleures pour la consommation que celles dont on se débarrasse par l'engouffrement. On peut même, quand on rencontre une couche aquifère, mais non artésienne, et plus bas une couche absorbante, laisser descendre dans cette dernière une partie du débit de la précédente, en utilisant son travail pour remonter le reste jusqu'à la surface.

(¹) Cependant, on peut citer comme exemple du contraire les forages absorbants à l'aide desquels la plaine des Paluns, qui formait un marécage voisin de Marseille, a été assainie il y a quatre siècles, sous le règne du roi René. Ils fonctionnent encore aujourd'hui, et on leur attribue la production des sources jaillissantes du port de Mion, près Cassis.

(²) Les premiers essais à cet égard sont dus à Flachat, en 1828. Ils ont été repris par MM. Mignon et Rouart, et rendus définitivement pratiques par M. Henriau. (Haton de la Goupillière, *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, III, 1.)

DEUXIÈME PARTIE

ABATAGE

CHAPITRE VII

ABATAGE A LA MAIN, A L'EAU, AU FEU

§ 1

TRAVAIL A LA MAIN

140 — *Instruments de chargement.* — Les moyens dont dispose le mineur pour attaquer la roche sont extrêmement variés, mais on peut les rattacher à cinq modes essentiels : le travail à la main, à l'eau, au feu, à la poudre et à l'air comprimé.

Le *travail à la main* consiste dans l'intervention de la seule force musculaire de l'homme [1] sans le secours d'aucun moteur étranger. Les outils dont il se sert pour cela doivent être entretenus en très bon état. Le *rendement* du piqueur se ressent bien vite de la moindre négligence à cet égard. Leur structure, les matériaux dont ils sont formés, doivent être combinés avec intelligence, de manière à alléger le poids, économiser les efforts, et les faire tendre le plus directement possible au but proposé. C'est ainsi, par exemple, que

[1] A côté du travail de l'homme, on peut citer l'exemple, à peu près unique, des animaux employés à désagréger, avec la charrue, certains placers aurifères ou platinifères de Sibérie. (Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 232.)

l'acier se substitue tous les jours au fer, sauf dans les instruments qui n'agissent que par leur masse, en vue d'obtenir plus de légèreté à résistance égale.

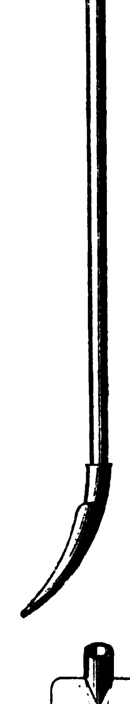


Fig. 111 et 112. Pelle (élévations antérieure et latérale).

Les outils du mineur se rattachent à deux buts différents : l'attaque du massif et le chargement des fragments dans les véhicules. Les premiers sont extrêmement variés, pour mieux s'adapter aux circonstances si diverses de l'abatage. Les instruments de chargement, au contraire, se réduisent à un très petit nombre, en raison de l'uniformité des conditions de leur emploi; toutes les différences originelles disparaissant, une fois que la matière est ameublie. Quelques mots suffiront en ce qui les concerne.

On commence, s'il y a lieu, par rassembler les matières avec un *râble* ou un *râteau*. Puis on les reprend avec la *pelle* (fig. 111, 112). Celle-ci peut être de forme trapézoïdale, ogivale ou arrondie. Quand on doit travailler dans l'eau, on lui donne quelquefois la forme d'une grille, pour laisser filtrer le liquide, qui, sans cela, entraîne toutes les matières par son écoulement sur des surfaces pleines. Une nervure prolonge la douille, pour donner de la résistance au corps de la pelle. Cette douille est située à peu près dans le même plan et munie d'un manche court, pour les travaux souterrains, dans lesquels l'ouvrier se trouve resserré. Elle s'assemble au contraire sous un angle de 135° à un manche beaucoup plus long, pour le terrassier qui travaille debout.

141 — La pelle change de nature, et devient en même temps un outil d'attaque, pour certains terrains sans dureté. On emploie, par exemple, de cette manière, la pelle ogivale dans le sable, la bêche pour des terres plus fortes, les *louchets* dans la tourbe.

Le petit louchet (fig. 113, 114) est une sorte de bêche munie d'un

aileron latéral. La tourbe étant déjà dégagée sur deux faces verticales, le tourbier enfonce son instrument de manière à séparer la *pointe* de tourbe du massif, suivant deux autres faces parallèles aux premières; puis, par un mouvement de bascule, il détache cette pointe de sa base, la soulève, et la dépose sur la berge ou dans une brouette. Ce travail se fait à sec et sur $0^m,30$ environ de hauteur.



Fig. 113 et 114. Petit louchet (plan et élévation).

Le grand louchet (fig. 115, 116) sert à travailler en eau profonde, en enlevant à la fois trois ou quatre pointes, c'est-à-dire un prisme de $0^m,90$ à $1^m,20$ de hauteur. La manœuvre d'un pareil poids est facilitée par le principe d'Archimède, pendant qu'il est immergé. Mais sa sortie de l'eau devient plus difficile. Elle exige à la fois de l'adresse chez le tourbier, pour faire basculer son instrument sur le rivage, et en même temps une solidité suffisante dans le louchet. Aussi les trois faces de tôle qui emprisonnent le prisme de tourbe sont-elles entretoisées; la douille de fer est longue, et munie en outre d'un long manche de bois.



Fig. 115 et 116. Grand louchet (plan et élévation).

142 — *Instruments du terrassier.* — Le *terrassier*, dont l'office est de remuer les terres à ciel ouvert, possède un matériel fort simple d'outils d'attaque.

Le principal est la *pioche* (fig. 117). L'une de ses extrémités est en forme de pointe, et destinée aux terrains caillouteux; l'autre présente, pour les sols argileux, un tranchant situé dans un plan perpendiculaire à celui de l'instrument. Ces deux parties s'équilibrent mutuellement, de manière

que l'outil soit mieux en main, le centre de gravité se trouvant sur le manche. Elles présentent une courbure circulaire, pour que la pioche puisse entrer facilement plusieurs fois de suite dans la même fente, que l'on approfondit par des coups successifs. Le cercle est en effet la seule courbe plane capable de glisser en elle-même, par une rotation autour de son centre de figure.

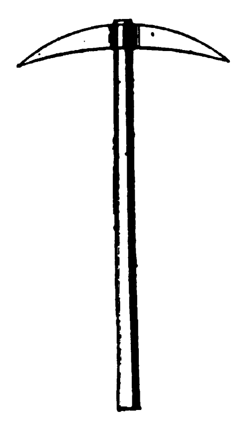


Fig. 117. Pioche.

La douille est tronc-conique et a sa petite base placée dans la concavité du fer. Le manche y étant introduit de ce côté, on éclate son extrémité au moyen de gros clous dans la partie renflée, de manière à l'empêcher de ressortir. La section du bois est un peu elliptique, pour qu'il ne tourne pas dans la main. L'extrémité présente un bourrelet, afin que l'outil ne puisse s'échapper en glissant. Le frêne convient très bien pour cet office.

Quand le terrassier n'a pas assez de force, dans sa position normale, pour déchausser un caillou de son alvéole, il engage sous l'obstacle la pointe de la pioche et, appuyant le pied sur le tranchant opposé, il fait levier avec le poids de son corps.

143 — On emploie également les *pinces*. On appelle ainsi de simples barres de fer, affûtées en pointe. L'ouvrier les enfonce verticalement en les soulevant et les laissant retomber par leur poids, jusqu'à ce qu'elles soient engagées sur une certaine hauteur, à une petite distance du bord d'un gradin. A ce moment, l'homme, placé un peu en arrière, pousse horizontalement sur la pince, pour faire éclater et chavirer le parement du terrain.

Fig. 118. Coin de terrassier.

Les *coins* sont de simples bûchettes de bois (fig. 118) présentant une pointe ferrée, et frettées à la tête, pour ne pas se fendre sous les coups que l'on y assène avec une *masse* de fer (fig. 119). On les enfonce en ligne parallèle

au bord d'un gradin, afin de le faire éclater comme il vient d'être expliqué pour la manœuvre des pinces.

Dans l'un et l'autre cas, on facilite l'opération en minant le gradin à sa base, à l'aide de la pioche, en forme de ***sous-chevage,*** de telle sorte que la partie supérieure se trouvant en porte-à-faux au-dessus du vide, son poids vienne en aide aux efforts que l'on exerce pour détacher le bloc du massif adhérent. Ce mode de travail économise la main-d'œuvre, en évitant de désagréger aussi complètement la masse. Les blocs se fragmentent par leur chute même, et il devient en outre facile de compléter cette subdivision, de manière à ce que les plus gros blocs puissent être chargés à la main, et le reste à la pelle.

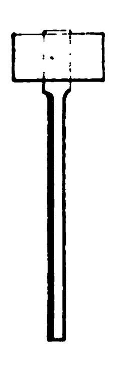


Fig. 119.
Masse.

144 — *Instruments du piqueur.* — L'ouvrier mineur porte souvent le nom de ***piqueur,*** parce que son instrument essentiel est le ***pic*** (fig. 120, 121). On distingue le ***pic au rocher*** du ***pic à la veine*** qui est employé dans le charbon. Le premier est plus lourd, sa tête est plate et peut servir de masse, à la manière d'une massue. Le ***pic à deux pointes*** permet de faire double besogne, avant de renvoyer l'outil à la forge pour le recharger d'acier. On emploie aussi le ***pic à pointes mobiles,*** celles-ci pouvant être assemblées et désassemblées par rapport au corps de l'instrument. Ce dernier n'a pas besoin d'être transporté hors du chantier, et les pointes, dont le piqueur possède un assortiment, vont seules à la forge [1].

Fig. 120 et 121.
Pic
(plan et élévation).

Le pic présente une certaine analogie de forme avec la pioche, mais le ***piquage*** de la houille diffère absolument du travail du terrassier. Celui-ci

[1] *Bull. min.*, 2e, IV, 551. — *Rev. univ. d. m. et u.*, XXVII, 395.

détruit tout, tandis que le piqueur désagrège le moins possible. C'est, à la fois, en vue de réduire au minimum le travail moléculaire de désorganisation, à fournir par les forces de l'homme, et aussi pour laisser le plus de marge possible à la production du *gros*, qui a une plus grande valeur commerciale que le *menu*. Ce dernier, en effet, se prête moins bien à la combustion, en entravant la circulation de l'air dans sa masse compacte; il se perd plus facilement au chantier par filtration dans les remblais, et peut ensuite y fermenter, s'y échauffer et provoquer l'incendie [1].

145 — Le piqueur attaque son *front de taille* comme pour en détacher intact un parallélipipède rectangle. Le massif étant libre en avant, on exécute trois coupures, à savoir : un plan horizontal par dessous, appelé le *havage* et présentant de $0^m,50$ à 1 mètre, parfois $1^m,50$ de profondeur; en outre deux plans verticaux latéraux, nommés *rouillures*. On introduit alors quelques coins à la *couronne*, pour aider le poids du bloc à le détacher à la fois suivant le plan horizontal du *plafond* et suivant une face postérieure, qui formera après la tombée le nouveau front de taille. Si, au contraire, la matière manque de consistance pour se maintenir jusqu'à l'achèvement de ces préparatifs, on la soutient provisoirement sur des cales ou des tasseaux passés dans la *sous-cave*.


Fig. 122. Rivelaine.

Pour pratiquer les rouillures, le piqueur procède par éraflures successives, en abattant de petits fragments suivant deux lignes verticales rapprochées, et faisant éclater leur intervalle par écailles, sur une largeur suffisante pour la pénétration du pic dans la fente verticale.

Pour le havage, il met un genou en terre et lance son pic dans le

(1) Il faut toutefois mentionner à titre d'exception, absolument rare, certaines anthracites dures, telles que celles de la Mayenne, pour lesquelles la méthode d'exploitation tendrait plutôt à la production du menu. (Dorlhac, *Bull. min.*, VII.)

plan horizontal rasant le sol, à la fois par la force des bras, et aussi en poussant le bras avec l'autre genou. On profite, s'il y a lieu, de la présence de lits schisteux friables, appelés ***havrits***, pour y pratiquer cette coupure. Quand il s'agit de la pousser profondément, on emploie la ***rivelaine*** (fig. 122), sorte de pic à deux pointes très plates, adapté à un long manche, à l'aide duquel on gratte dans le fond de la sous-cave. Cet instrument atteint $1^{m},80$ de longueur, chiffre qui s'abaissera au tiers de cette valeur pour des chantiers bas.

146 — Si la puissance du gîte diminue outre mesure, le mineur travaille couché sur le côté ou, suivant l'expression reçue, ***à col tordu*** (fig. 123), comme dans les schistes cuivreux du Mansfeld ou

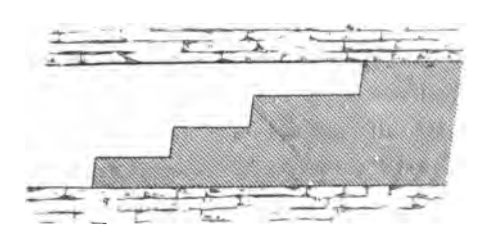


Fig. 123. Travail à col tordu.

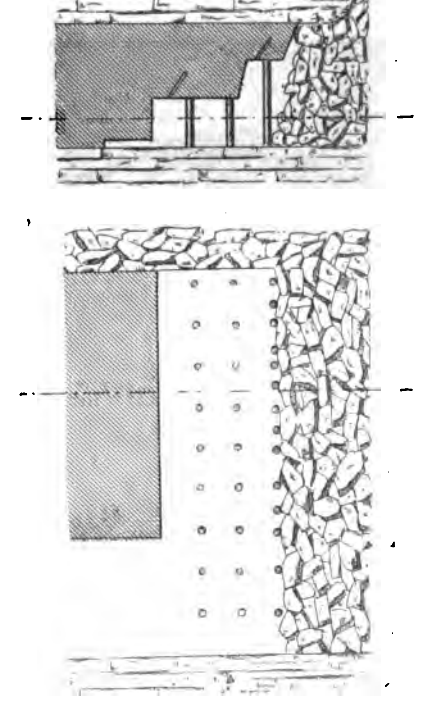
les tailles basses du Nord et de la Belgique. Il s'attache, sous la cuisse et l'épaule gauches, des planchettes destinées à le garantir du contact immédiat de la roche froide et humide.

Quand, au contraire, la hauteur du chantier devient trop considérable, on la fractionne en ***gradins***. La hauteur de chacun d'eux doit être essentiellement en rapport avec les facilités du travail de l'homme. Elle présente par suite une certaine constance. La longueur de la plate-forme dans le sens de l'avancement pourra, au contraire, varier arbitrairement, et sera proportionnée à l'importance de l'équipe installée sur chaque gradin, de manière que celle-ci puisse s'y développer à l'aise, et que ces divers postes ne se gênent pas mutuellement.

On distingue deux sortes de gradins : les gradins droits et les gradins renversés.


Fig. 124. Gradins droits.

Les *gradins droits* (fig. 124) sont disposés comme les marches d'un escalier, et n'en diffèrent que par leurs dimensions considérables. On évite autant que possible ce dispositif pour la houille, qui serait détériorée par le piétinement des hommes. Cependant on en rencontre des exemples en Westphalie ou dans les mines d'anthracite de Pennsylvanie. Leur véritable emploi est destiné aux matières pierreuses ou métalliques.


Fig. 125 et 126. Gradins renversés (coupes horizontale et verticale).

Les *gradins renversés* (fig. 125, 126) sont dessinés, non plus dans la sole que l'on a sous les pieds, mais dans le plafond qui se trouve au-dessus de la tête. Quand la hauteur n'est pas inabordable et que le manque de solidité l'exige, on soutient les divers gradins sur des buttes ou étançons. Les piqueurs attaquent de front les gradins inférieurs. Ils montent sur des échelles, ou s'échafaudent de diverses façons, pour atteindre ceux de la couronne.

147 — Outre le pic, le mineur emploie aussi les *coins*. Mais ces derniers diffèrent de ceux du terrassier. Ils sont plats et entièrement métalliques (fig. 127); on les bat à la *massette* (fig. 128).



Fig. 127. Coin de fer.

On assemble souvent les coins au nombre de trois, en introduisant dans un trou de mine rond, foré à l'aide des procédés que nous décrirons pour le tirage à la poudre, deux coins *demi-ronds* et entre eux un *plat-coin*, que l'on y chasse à grands coups de masse. Ce dernier ne rencontre, dans ces conditions, comme obstacle à la pénétration, que le frottement de fer sur fer poli, lequel est notablement moindre que le frottement exercé sur la roche brute avec le mode ordinaire. Cet ensemble porte le nom d'*aiguille-coin* ou *aiguille infernale* (*Federkeil*).

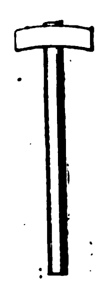


Fig. 128. Massette.

On dispose également ces aiguilles en sens contraire, en introduisant le coin dans le trou la tête la première, et l'attirant vers l'ouverture au moyen d'une vis puissante, à laquelle il est relié et qui prend son point d'appui sur l'orifice du trou. Plusieurs dispositifs ont été combinés dans ce sens (¹). La figure 129 représente celui de M. Levet (²).

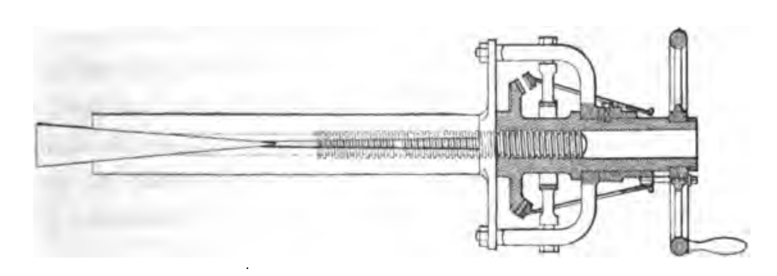


Fig. 129. Coin à vis.

(¹) Par MM. Cochrane, Degheye, Demanet, Guibal (*CRM*, novembre 1877, 10; mai 1880, 97. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1871, 154; 1877, 129. — *Annales des trav. publ. de Belgique*, XIV, 510; XXI, 113. — PA. Angl. 278. — Alfred Evrard, *Traité pratique de l'exploitation des mines*, I, 104).

(²) *CRM*, 1880, 97.

148 — Pour les matières les plus dures, le travail au pic devient impuissant et l'on en était réduit, avant l'introduction de la poudre dans les mines, à l'emploi de la *pointerolle* (fig. 130). Elle ne sert plus aujourd'hui qu'exceptionnellement, pour dresser exactement certaines portées essentielles, que l'on ne veut pas ébranler par l'action des explosifs.



Fig. 130. Pointerolle.

La pointerolle est un *ciseau*, que l'on munit d'un manche pour qu'il soit plus facile à tenir. On l'ajuste d'une main sur le point précis d'où l'on veut détacher un fragment, et de l'autre on frappe sur la tête avec une massette.

On reconnait là un mode tout différent du piquage, et qui se rapproche plutôt en principe du travail du terrassier, puisqu'au lieu d'isoler un bloc important, on est obligé de tout détruire dans l'étendue du vide à produire. On doit même reconnaître que la désagrégation est poussée ici beaucoup plus loin que dans le premier cas. Il est donc facile de comprendre combien ce genre de travail est long et dispendieux, et l'on ne peut se défendre d'un véritable étonnement en retrouvant, dans certaines mines, des travaux effectués à la pointerolle par les anciens mineurs sur d'immenses étendues.

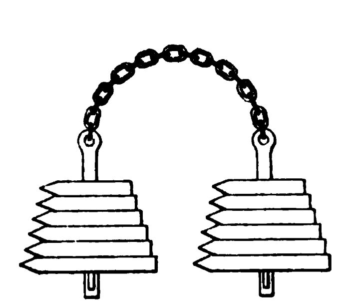


Fig. 131. Assortiment de pointerolles.

Le ciseau s'émoussant très vite, l'ouvrier en possède un assortiment qu'il apporte au chantier, enfilés dans une chainette, pour les emmancher les uns après les autres (fig. 131).

Je compléterai cette description par le tableau suivant [1], destiné à faire connaître, pour les outils les plus importants, leurs dimensions, leur poids et leur prix. A ce dernier il faut toutefois ajouter

[1] Dressé à l'aide des intéressants documents qui ont été insérés par M. Pernolet dans l'*Agenda-Dunod pour les mines*, 1882, p. 48.

à part le prix du manche, qui est d'environ 0 fr. 25 pour les pelles et 0 fr. 22 pour les pics.

OUTILS	LONGUEUR DU FER	LARGEUR DU FER AU CORPS	POIDS	PRIX
	millim.	millim.	kilog.	francs
Pelle de terrassier.	460	460	3,50	2,50
Pelle de mineur { au rocher	440	430	3,15	2,05
Pelle de mineur { au charbon . . .	350	310	2,00	1,30
Pioche de terrassier.	600	60 sur 12	5,00	4,75
Pic au rocher (pointe aciérée) . . .	330	28 sur 22	1,70	1,35
Pic au charbon { (pointe aciérée). .	280	28 sur 15	0,95	0,75
Pic au charbon { (2 pointes aciérées).	330	27 sur 15	1,00	1,00
Rivelaine (2 pointes de 0m,140) . . .	150	32 sur 10	1,50	1,50
Aiguille au rocher (pointe de 0m,075).	185	37 sur 30	1,00	0,65
Aiguille au charbon (— de 0m,155).	355	50 sur 23	2,00	1,30

§ 2

TRAVAIL PAR L'EAU

149 — *Action statique.* — L'eau est un agent très souple et doué de nombreuses propriétés, qui ont permis de fonder sur son emploi un grand nombre de procédés d'attaque. Elle est répandue partout et facile à trouver, pour un genre d'applications qui n'exige aucune composition spéciale. En revanche, elle est incommode, salissante. Elle expose, en délayant le terrain, à des éboulements tels que celui de Varangéville, que nous décrirons plus tard. Dans tous les cas, il est nécessaire, une fois qu'elle a rempli son office, de la sortir au dehors par les moyens d'épuisement, si la mine ne possède pas une galerie d'écoulement naturel.

L'eau peut être employée d'après divers genres d'action : statique, dynamique, physique, chimique et organique.

L'action statique, c'est-à-dire la pression, a été employée dans un grand nombre d'appareils [1]. L'un des plus satisfaisants parait

[1] Bidder et Jones, Chubb, Davies, Dingly et Ackers, Elliott, Grafton, Grinder, Guibal, Mac-Dermott, Tangye, Williams.

être le levier hydraulique Levet(1). Il se compose (fig. 132) d'une aiguille infernale dont on tire au dehors le coin central, non plus comme ci-dessus (n° 147) à l'aide d'une vis, mais par la pression hydrostatique que subit un piston. A cet effet, on injecte sur sa face interne, avec une petite pompe de compression, de l'eau que l'on prend sur l'autre face, et qui rentre par un conduit oblique dans la région où puise la pompe. La tige du piston qui tire le coin est guidée par le fond du corps de pompe, qu'elle traverse dans un cuir embouti. En cas d'insuccès, on n'a qu'à frapper sur la tige du

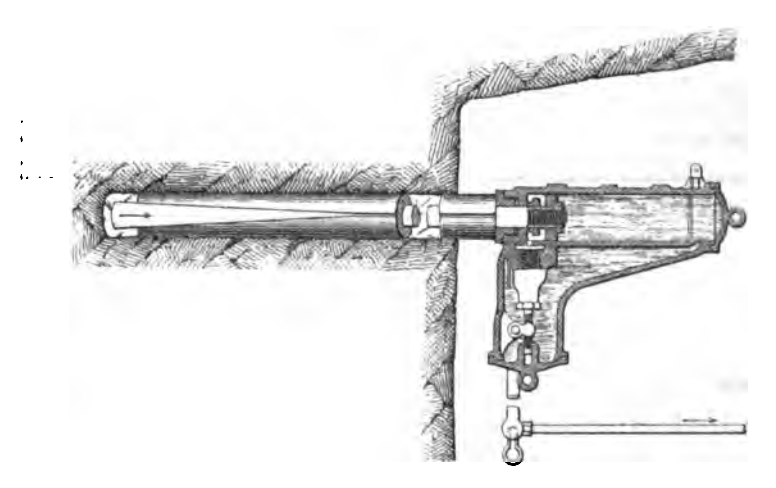


Fig. 132. Coin hydraulique de Levet.

piston, après avoir soulagé la pression; l'aiguille rentre en dedans, et l'on peut retirer le système. Le petit modèle de cet appareil arrive à développer un effort de trente tonnes.

Cette action paraît moins économique que le tirage à la poudre, mais elle présente sur lui des avantages qui pourront être décisifs dans des cas spéciaux. Elle ne risque pas d'enflammer le grisou : elle n'occasionne pas de projections, attendu que l'eau perd immédiatement sa tension après un déplacement inappréciable des molécules; on obtient plus de gros et moins de menu, car l'action est plus mesurée et moins brutale.

(1) *CRM*, avril 1878, 86.

150 — *Action dynamique.* — L'action dynamique, ou l'utilisation de la force vive préalablement accumulée dans un jet d'eau, a figuré en Angleterre pour enfoncer des pieux de fonte creuse, en entraînant le sable au-dessous de l'axe du pieu, par un vif courant qui sort sous pression de son intérieur.

M. Bergeron a proposé également [1] de s'en servir pour attaquer les bancs de sable qui tendent à encombrer les ports, en entraînant, au moyen de l'eau lancée, les matières désagrégées.

L'extracteur Bazin exerce un appel sur les matières meubles, sables et vases, du fond des rivières ou des ports, à travers un tube, dans lequel on détermine un courant très énergique au moyen d'une pompe à force centrifuge. On recueille même parfois à l'orifice du tube des galets de la grosseur du poing, qui attestent la puissance de cette succion [2]. Les bateaux extracteurs du port de Saint-Nazaire [3] opéraient d'une manière analogue, mais en rejetant les matières au-dessus de la ligne de flottaison, au lieu de les faire déboucher à fond de cale en profitant de la charge d'eau au-dessus de ce point. On trouverait également une action analogue dans la *pompe à sable*, dont on s'est servi en Amérique pour les fouilles du pont Saint-Louis sur le Mississipi [4]. Mais je n'insisterai pas davantage, afin d'en arriver aux applications de l'action dynamique de l'eau pour le dépècement des gîtes minéraux.

L'abatage par l'eau figure dans les exploitations malaises des alluvions stannifères de Malacca [5]. L'ouvrier creuse, au sein du gisement, des fossés dans lesquels on fait circuler l'eau. Ce courant tend à ronger les berges, qu'on y abat progressivement, de manière à déterminer un lavage grossier propre à enrichir le minerai, en raison de la très grande densité de l'étain oxydé.

L'emploi de la force vive de l'eau a pris en Californie un développement extraordinaire [6], au moyen des appareils qu'on y appelle

[1] *Bulletin de l'Association française pour le progrès des sciences*, 1878, 197.

[2] *Génie civil*, II, 420; — Collignon, *Bulletin de la Société philomathique*, 1873, 107.

[3] Leferme, *Annales des Ponts et chaussées*, 1869, mémoire n° 227.

[4] Travaux publics des États-Unis en 1870, rapport de mission de M. Malézieux, 87.

[5] Rapport inédit de J. Errington de la Croix sur les mines d'étain de Perak (Péninsule malaise).

[6] Sauvage. *Annales*, 7e, IX, 1.

géants. J'aurai occasion de décrire avec détails, dans la quatrième partie de ce cours, ce mode d'exploitation [1].

151 — *Action physique*. — L'action physique fait intervenir l'influence de la congélation, qui dilate le volume de l'eau avec une puissance irrésistible [2]. Ce procédé, naturellement limité aux climats rigoureux, se rencontre en Russie pour l'exploitation de marbres statuaires, et au Massachusetts pour celle du granite. Il permet de détacher des blocs importants sans risquer de les fendre.

A cet effet, on commence par limiter leur contour au moyen d'une série de trous de fleuret, identiques à ceux qui servent pour le tirage à la poudre. Le soir venu, on les remplit d'eau, en les obturant avec des tampons de bois enfoncés à force. Le froid de la nuit détermine l'expansion de la glace et l'éclatement de la roche.

152 — *Action organique*. — L'action organique mise en jeu pour l'abatage est celle qu'exerce l'humidité sur le bois pour en dilater les fibres. Les Égyptiens la faisaient intervenir pour détacher les blocs destinés à former leurs immenses obélisques. On l'a employée à La Ferté-sous-Jouarre pour l'exploitation des meulières, et à Diano Marina (Ligurie) pour celle des calcaires lithographiques. Le but que l'on poursuit par là est le même que dans le cas précédent, c'est-à-dire d'éviter l'action brutale de la poudre, sur des substances qui perdraient leur valeur par les moindres fendillements.

Après avoir foré des lignes de trous, on y force des tampons de chêne sec que l'on noie ensuite d'eau. L'augmentation de volume que prend le bois détermine le détachement du bloc.

[1] On trouverait jusqu'à un certain point un effet analogue à l'action dynamique de l'eau, dans l'attaque des corps durs réalisée au moyen de jets de sable quartzeux sous l'influence d'une soufflerie. Des corps mous, tels que la limaille de plomb, arrivent alors à entailler des substances dures comme l'acier. Une étude théorique de ce curieux phénomène a été publiée par M. Osborne Reynolds (*Philosophical Magazine*, XLVI, 4e série, traduit par Pérard. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, VIII, 516).

[2] M. Hagenbach a fait, sur la congélation de l'eau en espace clos, des expériences intéressantes (*Archives des sciences physiques et naturelles de Genève*, 15 juin 1880; — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 4 juillet 1880, 220).

153 — *Action chimique.* — L'action chimique de l'eau sur les roches peut être variée de bien des manières.

Signalons d'abord l'hydratation de la chaux vive, proposée pour la première fois par George Elliott et pratiquée récemment par MM. Smith et Moore(¹). On arrive, comme dans le cas précédent, à déterminer une dilatation irrésistible. Elle est, en volume, à peu près du simple au quadruple.

La chaux, réduite en poudre fine, est moulée sous une forte pression en cylindres de $0^m,063$ de diamètre, sur la paroi desquels se trouve ménagée une rainure longitudinale. Après avoir renfermé cette cartouche derrière un bourrage énergique, que l'on force dans la partie antérieure du coup de mine, on injecte avec une pompe foulante un volume d'eau à peu près égal à celui de la chaux ; puis on ferme le tube à l'aide d'un robinet, pour empêcher l'échappement de la vapeur due à l'échauffement considérable que produit la réaction chimique de l'eau sur la chaux. L'éclatement a lieu sans explosion ni projection, sans danger d'inflammation du grisou, et en produisant une forte proportion de gros, en raison de ce genre d'action plutôt progressif qu'instantané.

154 — Indiquons en second lieu la *désagrégation* par l'eau, des matières faiblement cimentées. On sait, à cet égard, combien le creusement du canal de Suez a été accéléré, dès que l'on a pu draguer sous l'eau les formations que l'on avait dû d'abord attaquer à sec.

C'est encore en raison de ce genre d'action que l'on retire à l'aide d'une drague (fig. 133) la tourbe délayée, du fond des parties submergées que l'on ne peut atteindre qu'en bateau.



Fig. 133. Drague du tourbier.

(¹) *On a new method of mining coal by Paget Mosley (Journal of the iron and steel institute*, n° 1 for 1882. — *Annales*, 8ᵉ, I, 594. — *CRM*, 1883, 80. — *Revue scientifique de Bruxelles*, 1883, 681.

155 — Vient enfin la ***dissolution*** proprement dite. On s'en sert notamment avec le chlorure de sodium, soit pour l'exécution du réseau de travaux souterrains qui constituent l'aménagement d'une mine de sel, soit pour l'enlèvement en masse du gîte lui-même ([1]).

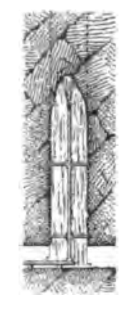


Fig. 134. Forage par l'eau d'un puits montant.

Pour les travaux de traçage, on emploie l'eau sous une faible pression : deux atmosphères environ; car il ne s'agit plus alors de créer, comme dans la méthode de Californie, une force vive destructive, mais simplement de faire lécher les surfaces solubles par une faible lame d'eau qui les use, en s'emparant du sel qui les constitue. Une tuyauterie qui amène le liquide jusqu'aux avancements, et des tubes flexibles, sont destinés à la fournir aux pommes d'arrosoir, rondes ou plates suivant le but à atteindre.

La même eau peut servir plus d'une fois. Elle est définitivement recueillie avec soin dans des gouttières et rejetée au dehors, à l'aide de caniveaux et des moyens ordinaires d'épuisement. Ce dernier point est d'une importance capitale, car c'est aux infiltrations qui ont insidieusement délayé le mur du gîte de Varangéville, que l'on doit attribuer l'accident qui a amené l'abandon de l'ancienne mine et de cette méthode hydraulique d'exploitation.

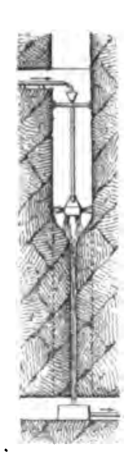


Fig. 135. Fonçage par l'eau d'un puits descendant.

La figure 134 montre comme exemple le percement d'un puits en montant, et la figure 135 la même opération exécutée en descendant. On a dû, dans ce dernier cas, commencer par forer un trou de sonde suivant l'axe du puits projeté, pour effectuer l'évacuation des eaux dans l'étage inférieur. Pour un avancement de galerie, on procédera à l'aide d'un havage et de rouillures pratiqués avec des tuyères plates.

([1]) Keller, Méthode sur les méthodes d'exploitation du Salzkammergut, *Annales*, 6e, II, 1.

156 — Quant à l'enlèvement complet d'un gîte de sel par la dissolution, il peut être effectué suivant trois modes différents. D'abord par le sondage, comme il a été déjà dit (n° 126). En second lieu, par la méthode vaudoise, employée dans les salines de Bex ([1]). Elle consiste à pratiquer des chambres intérieures, dans lesquelles on abat la roche calcaire imprégnée de sel, qu'on laisse digérer avec l'eau. Au bout d'un certain séjour dans ces *salons*, la saumure s'écoule au dehors et se rend aux usines d'évaporation. Le troisième procédé est celui du Salzkammergut. Il diffère de la méthode vaudoise en ce que la roche n'est pas remaniée mécaniquement, mais dissoute en place. Nous examinerons plus tard avec détails (n° 403) l'application de ce procédé dans la mine d'Hallstadt.

§ 3

TRAVAIL AU FEU

157 — Pour les roches les plus récalcitrantes les mineurs ont, de toute antiquité, eu recours à l'emploi du feu ([2]). On retrouve partout les traces de ce mode d'exploitation ([3]), et Diodore de Sicile le décrivait déjà en ces termes : « Quand la terre qui contient l'or se trouve trop dure, on l'amollit d'abord avec le feu, après quoi on la rompt à grands coups de pic ou d'instruments de fer » ([4]). Ce pro-

([1]) *Bulletin de l'Association scientifique de France*, n° 525, 120.

([2]) Gobet, *Anciens minéralogistes du royaume de France*, I, 5. — Héron de Villefosse, *Atlas de la richesse minérale*, II, 30. — Delius, *Instruction sur l'art des mines*, traduit par Schreiber, qui appelle cette opération le *torréfage*, I, 245 à 256.

([3]) Elle s'observent parfois sur une échelle gigantesque. On a, par exemple, pratiqué à l'aide du feu, dans la mine de plomb de Sala (Suède), une excavation de 30 m. de large sur 50 m. de long et 50 m. de hauteur.

([4]) Les anciens paraissent d'ailleurs avoir été très experts dans l'art d'appliquer la chaleur aux roches, comme le témoigne la pratique si curieuse des forts vitrifiés, dont on retrouve encore de nombreux vestiges dans les contrées les plus diverses. Il est probable qu'ils se servaient dans ce cas spécial de fondants tels que le sel marin ou autres, en les variant suivant la nature des roches, et qu'ils agissaient à la fois par l'extérieur et l'intérieur des massifs de la construction, car les traces de l'action calorifique sont parfois encore plus sensibles à l'intérieur. Cette action a même atteint le point de fusion complète de la masse, qui se trouve par là soudée au sol avec lequel elle est unifiée. On a, en cela, dépassé de beaucoup le but, tout différent, que se proposaient de leur côté les mineurs dans leurs chantiers souterrains (voir la communication de M. Dau-

cédé a aujourd'hui perdu sa raison d'être par l'invention de la poudre, et des nouveaux explosifs, plus énergiques encore. On ne le rencontre plus que d'une manière absolument exceptionnelle, dans certains quartiers de quelques mines telles que le Rammelsberg (Hartz), Geyer et Altenberg (Saxe), Felsobanya (Hongrie), Kongsberg (Norvège) et quelques exploitations de Suède.

On sait que la chaleur *étonne* les roches. Le mécanisme de cette action très puissante est facile à comprendre. Celles-ci sont souvent formées par l'agglomération de minéraux dont les coefficients de dilatation peuvent être différents les uns des autres, ce qui les oblige à des disjonctions mutuelles. La différence est faible, sans doute, mais la sphère d'action des forces moléculaires l'est davantage encore, et, celle-ci une fois dépassée, la ténacité est rompue sans retour.

En second lieu, le défaut de conductibilité, au moment de l'échauffement ou lors du refroidissement, que l'on peut rendre très brusque par des aspersions d'eau, provoque des retraits inégaux et des fendillements dans la masse.

Enfin il peut arriver que la matière perde, sous l'influence d'une haute température, certains principes, tels que l'eau d'hydratation, un excès de soufre dans les pyrites, etc.; d'où un changement moléculaire qui peut être accompagné d'une transformation de la ténacité, de telle sorte que la roche, d'abord inattaquable, devienne relativement friable et se laisse démolir au pic.

158 — L'intensité de ces effets a été mise en évidence par une expérience de M. Daubrée [1], exécutée avec le dard du chalumeau dans des quartzites. Sous l'influence de cette flamme, il se détachait de la roche des paillettes de quelques millimètres, projetées à plusieurs décimètres de distance. En cinq minutes, un trou rond de quelques millimètres de diamètre se trouva foré sur six centimètres de profondeur.

brée à l'Académie des sciences, *Comptes rendus*, XCII, 269, et la notice insérée par lui dans la *Revue archéologique*, février 1881. M. Daubrée cite encore les sources suivantes : Général Prévost, *Mémoire sur les forts vitrifiés*, Saumur, 1863. — Général Prévost, *Dissertation sur les forts vitrifiés*, Angers, 1867. — Comte de Cessac, *Les forts vitrifiés dans la Creuse*, Caen, 1868. — Thuot, Forts vitrifiés, *Revue des sociétés savantes*, 2ᵉ, VIII, 160).

[1] *Annales*, 5ᵉ, XIX, 23.

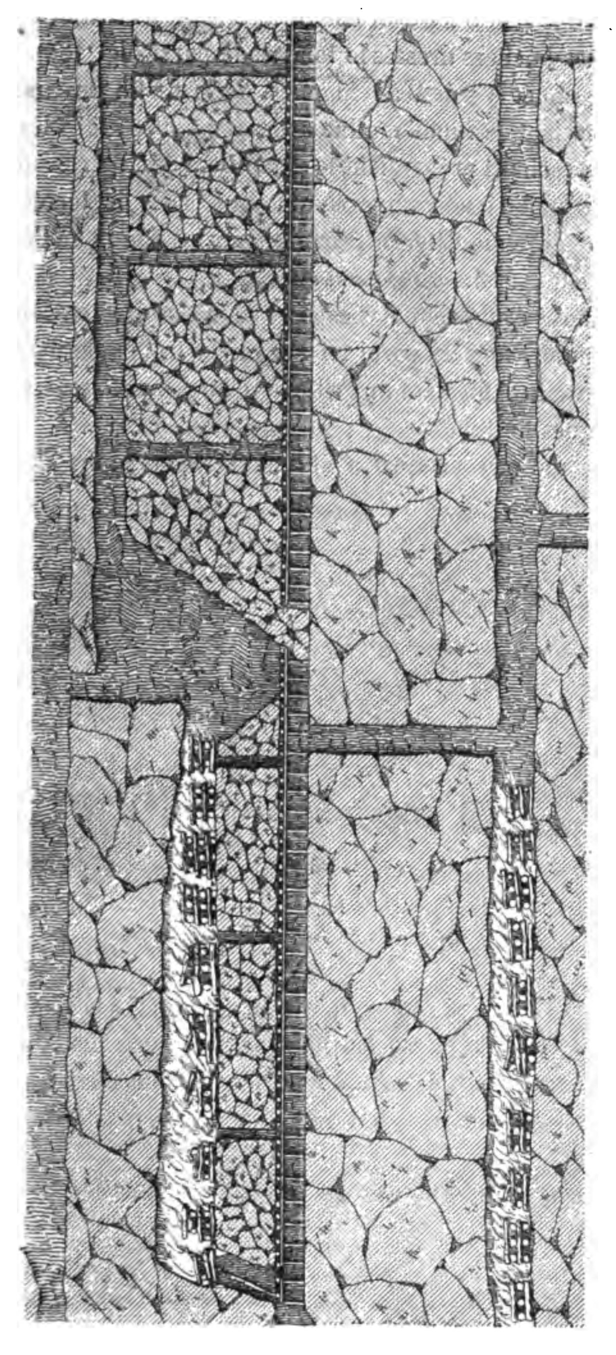


Fig. 136. Travail par le feu.

Dans les mines du Hartz, on employait, pour le travail régulier par le feu, des bûchers dressés le long de la paroi (fig. 136). On les allumait les samedis soirs, au moment de la sortie des hommes. Ceux-ci rentraient le lundi matin, achevaient d'éteindre les feux, dépeçaient la roche et préparaient les chantiers de la série suivante. Le mercredi ou le jeudi, on exécutait une série de torréfactions secondaires, pour compléter la première sur les points où l'on avait imparfaitement réussi.

On a employé également des espèces de rôtissoires en tôle, dirigeant la flamme vers la paroi au moyen de troncs de pyramides ouverts en avant, et formant un gril, sur lequel on chargeait le bois avec de longues fourches.

Ce moyen un peu primitif a été perfectionné dans l'appareil

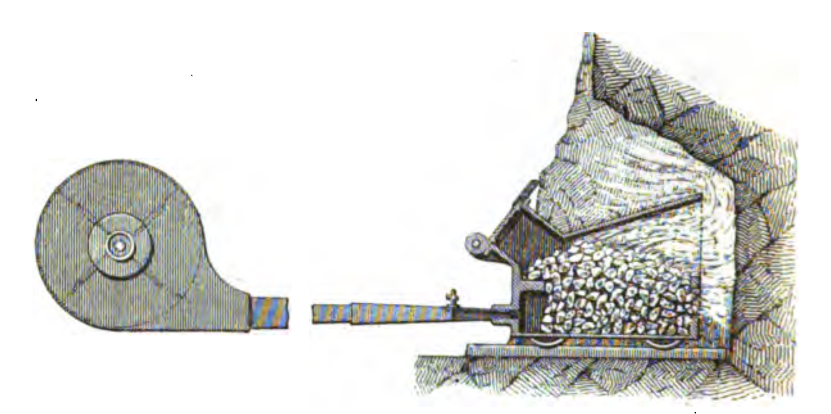


Fig. 137. Appareil Hugon pour l'attaque par le feu.

Hugon (fig. 137) qui a été employé à la mine des Challanches (Oisans) [1]. Il consiste en un fourneau mobile sur rails et alimenté par un petit ventilateur, de manière à pouvoir concentrer une action calorifique intense sur un point donné.

[1] *Berg und hüttenmännische Zeitung* von Kerl und Wimmer, 1868, 398.

CHAPITRE VIII

TIRAGE A LA POUDRE

—

§ 1

DÉTERMINATION DES TROUS DE MINE

159 — *Emplacement du coup de mine.* — Le tirage d'un *coup de mine*, appelé aussi *pétard* ou *fourneau*, consiste dans les opérations suivantes. On commence par forer un *trou de mine*, en forme de cylindre étroit et profond. On le charge de poudre sur une partie de sa longueur et on bourre le reste au moyen d'une matière inerte. Un conduit est ménagé pour l'amorce à travers cette bourre. On met le feu à une mèche, qui brûle avec une lenteur suffisante pour que le mineur ait le temps de se retirer à l'abri. Après la détonation, il revient dépiler la roche au pic et procède à l'enlèvement des déblais.

Le premier point à considérer est donc le choix de l'emplacement du trou de mine. On peut à cet égard formuler certaines idées générales (1), mais rien ne saurait suppléer à l'expérience personnelle du mineur.

(1) Jules Havrez, Sur le meilleur mode de creusement des trous de mine (*Rev. univ. d. m. et u.*, XXXIX, 489). — Wauvermans, *Étude sur les mines militaires et les effets dynamiques de la poudre*. — Drinher, *A treatise on tunnelling explosive compounds and rock drills*, New-York. — Striedinger, Explosion simultanée et groupement le plus avantageux des trous de mine (*Transactions of the American Society of civil engineers*, VI, 177). Hœfer, *Beiträge zur Spreng oder Minen Theorie*, Vienne, 1880. — Hœfer, *Die Ausrichtung der Verwerfungen*, Vienne, 1881. — Rziha, *Tunnelbau*. — Rziha, *Theorie der Minen*, Lemberg, 1866. — Hagen von Hagenburg, Essai d'une théorie du tirage à la poudre et à la dynamite, Vienne.

Il convient que la roche soit dégagée suivant le plus de faces possible. On place, en général, le trou à peu près parallèlement au front de taille que l'on veut pousser en avant. Sa distance doit être telle que le coup fasse le plus possible de gros et peu de menu, en brisant sans broyer. Il faut pour cela prendre assez et ne pas prendre trop [1]. Si l'on attaque un massif trop faible, il sera pulvérisé. S'il est trop fort pour la charge, celle-ci pourra trouver moins de résistance suivant l'axe du trou, en projetant la bourre au dehors. On dit alors que le coup *fait canon*. C'est ce qui arrivera également si le trou est trop perpendiculaire à la paroi dégagée.

Le mineur devra se servir avec intelligence des plans de moindre résistance, tels que les lits de substances étrangères interposés dans la stratification, les clivages, la schistosité, la *feuille* du charbon.

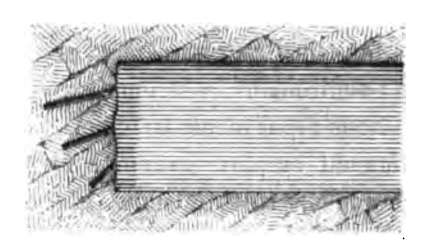
160 — Nous avons dit (n° 145) qu'après avoir pratiqué le havage et les rouillures pour effectuer l'abatage d'un bloc, on le détache du plafond à l'aide d'une ligne de coins. Si le charbon est dur, on leur substitue une série de pétards. Cependant le tirage en couronne, sur 0m,30 environ à partir du faîte, doit être rigoureusement proscrit dans les mines grisouteuses, car c'est dans cette zone que se concentre le gaz d'après sa légèreté spécifique. De plus, il est particulièrement difficile d'y constater sa présence sans incliner la lampe, ce qui, pour certains types, en provoque l'extinction.

Pour un motif analogue, on ne doit pas, dans les houillères poudreuses, tirer de coups horizontaux à la sole; c'est là, en effet, que reposent ces poussières inflammables, dont nous reconnaîtrons plus tard le danger. Or le coup débourré pourrait les soulever et les embraser.

161 — Pour l'avancement d'une galerie, on pratique dans certains cas un gradin, en subdivisant la hauteur en deux travées, du reste inégales. De cette manière, on peut avoir deux postes travaillant

[1] Certains sautages sont formidables. On a abattu jusqu'à 125000 mètres cubes d'un seul coup dans les carrières de Lafarge du Teil (Ardèche). Ce fourneau chargé de 7000 kg. de poudre a coûté 22 900 fr. Les hommes, chaussés d'espadrilles, travaillaient dans l'obscurité pour le chargement et le bourrage. (Orieulx de la Porte, *Annales*, 8e, III, 295).

simultanément et obtenir un avancement plus rapide. De plus, le gradin, dégagé sur ses deux faces, se trouve dans des conditions plus favorables qu'un front de taille mené verticalement dans toute la section de l'ouvrage. La plupart du temps, cependant, ce dernier mode domine pour plus de simplicité et pour permettre l'installation des perforatrices mécaniques.


Fig. 138. Coups de mine à l'avancement.

On commencera par déchausser le front de taille avec de petits coups de mine (fig. 138), puis, en progressant, avec de plus énergiques. On peut aussi attaquer avec un gros pétard central chargé à la dynamite, pour produire une sorte d'entonnoir. On abat ensuite la roche ainsi dégagée, au moyen de charges de poudre d'importance moindre.

162 — Pour le fonçage d'un puits rond, on pratique un fourneau central à la dynamite, qui dégage le reste en forme de gradin circulaire, en même temps que cette dépression sert de cuvette pour la réunion des eaux. On bat ensuite au large, à l'aide d'une ceinture de petits coups de mine.

Dans un mode inverse, on commence par creuser, avec une couronne de pétards relativement faibles, un fossé circulaire, puis on brutalise le stross central avec de forts coups de mine. Cette méthode présente l'avantage de mieux ménager les parois, point très essentiel pour l'avenir du puits. Les grands ébranlements ne s'effectuent en effet, avec ce procédé, que lorsque la communication se trouve, jusqu'à un certain point, interrompue avec le massif externe.

Pour un puits rectangulaire, on peut commencer par pratiquer à petits coups deux fossés sur les longs côtés, puis un troisième suivant le petit axe. On enlève alors les deux stross en les rabattant sur ce fossé central à l'aide de pétards très inclinés.

163 — *Dimensions des trous de mines.* — La longueur d'un trou

de mine ordinaire est d'environ 0^{m},50, pouvant s'accroître jusqu'à 1 m. Quand on emploie les perforateurs mécaniques, on trouve commode, pour déplacer moins souvent l'affût, de donner directement au trou une profondeur double : 2 m. par exemple. On remplit alors de sable la moitié de la profondeur, et l'on tire dans la travée antérieure suivant le mode ordinaire. Puis, après l'enlèvement des déblais produits par cette première volée, on retire le sable avec des curettes et l'on tire dans la seconde travée.

Nous avons même vu, dans cet ordre d'idées (n° 123), le sondage au diamant employé pour fournir des trous de mine d'une longueur en quelque sorte indéfinie, que l'on fractionne pour le tirage. Ces procédés procurent plus de rapidité, mais ils provoquent des ébranlements qui peuvent déjeter l'axe du trou, en gênant ensuite le bourrage.

164 — Le diamètre est ordinairement de trois à quatre centimètres ; il présente d'ailleurs une certaine proportion avec la longueur.

Pour savoir s'il convient d'augmenter ou de diminuer le rapport de ces deux dimensions, en vue d'obtenir le meilleur effet utile, désignons le diamètre par d, en appelant h la hauteur de la charge et h' celle de la bourre, de sorte que $h + h'$ représente la longueur du forage. Le travail de désagrégation à fournir sera en raison du volume de ce cylindre, c'est-à-dire proportionnel à

$$(h + h')\, d^2.$$

Quant à l'effet utile, ou à la force de séparation exercée par la poudre dans le sens voulu, il se mesure par la somme des projections sur cette direction, des efforts élémentaires exercés par la pression des gaz, sur tous les éléments de la moitié de la surface interne qui est située de ce côté. D'après un théorème d'hydrostatique, cette somme a pour valeur le produit de la pression par la projection de la surface courbe sur un plan perpendiculaire à l'axe de déplacement. Elle sera donc proportionnelle au rectangle :

$$hd.$$

Le rendement s'exprimera d'après cela par la fraction :

$$\frac{hd}{(h + h')\, d^2} = \frac{1}{1 + \frac{h'}{h}} \cdot \frac{1}{d}.$$

Or le rapport $\frac{h}{h'}$, des hauteurs de la charge et de la bourre est à peu près constant pour chaque ensemble de données locales, et se modifie même assez peu d'une manière générale. On voit donc que le rendement varie sensiblement en raison inverse du diamètre, et qu'il y a par suite intérêt à réduire ce dernier.

§ 2

FORAGE

165 — *Tarières.* — Le forage d'un trou de mine rappelle très exactement, sur une échelle réduite, le procédé du sondage, et il n'est pas difficile d'y retrouver la plupart des points de vue sur lesquels nous avons insisté dans la description de cette vaste opération (chap. V). On peut employer pour ce travail deux modes distincts : à la main ou avec des moteurs. Nous n'envisagerons en ce moment que les moyens de percement à la main. Les procédés de forage mécanique feront l'objet du chapitre IX.

On peut employer pour le percement à la main, soit la rotation continue à l'aide de tarières, soit le choc.

Les tarières mues par la seule force de l'homme ne sont admissibles que dans les roches relativement tendres. On les met en jeu à l'aide d'une sorte de *vilebrequin*. Quand le trou de mine doit être foré dans un angle, où cet instrument ne pourrait effectuer sa rotation continue, on lui substitue le *criquet*, qui n'exécute que des mouvements angulaires alternatifs. Un encliquetage permet alors de revenir à vide, en n'agissant pour l'avancement de la tarière que par des mouvements de rotation directe.

On facilite beaucoup l'usage de la tarière par l'emploi de châssis portatifs, qui constituent les *perforateurs rotatifs à la main*.

Le plus répandu est le perforateur Lisbet ([1]). Il se compose (fig. 159) d'un montant dont les deux parties peuvent jouer à coulisse l'une dans l'autre ([2]). La portion inférieure se pique dans le sol au moyen d'une pointe fixe. La seconde s'y adapte à l'aide d'une broche. On complète le serrage avec une vis, qui commande la pointe supérieure pour la piquer dans le plafond. Le porte-outil peut voyager comme un curseur le long du montant, et s'y fixer en divers points, de manière à procurer au trou de mine toutes les situations. Ce palier, taraudé à l'intérieur, sert d'écrou à une vis qui est elle-même creuse et traversée par la tige de la tarière. Un manchon à griffes s'embraie ou se désembraie, suivant que l'on tire ou que l'on pousse sur la manivelle pendant la rotation, pour rendre la tarière et la vis à volonté solidaires ou indépendantes. Si la roche est très tendre, on réunit les deux pièces, et l'outil pénètre forcément dans le massif d'un pas pour un tour. Mais si le terrain résiste à un aussi grand avancement, sous l'effort limité que peut exercer le bras de l'homme, celui-ci désembraie la vis, et n'obtient plus dès ce moment que des enfoncements en rapport, à la fois, avec la pression qu'il exerce et avec la résistance.

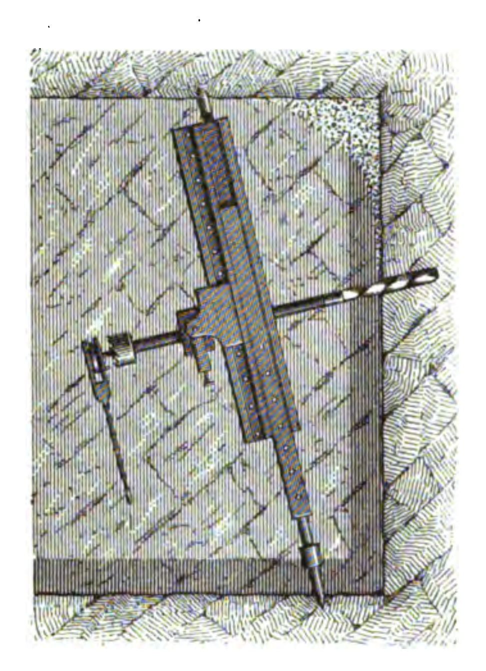


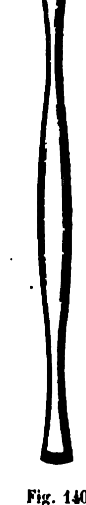
Fig. 159. Perforateur Lisbet.

([1]) Il faut également citer ceux de MM. Abegg, von Balzberg, Bertet, Richards, Rziha, Schwetzka, Stank et Reska.

([2]) *CRM*, novembre 1879, 255.

166 — *Barre à mine.* — Quand on emploie le choc, on peut d'abord, quoique rarement, se servir d'instruments contondants, appelés ***bonnet carré*** et semblables à ceux du sondage.

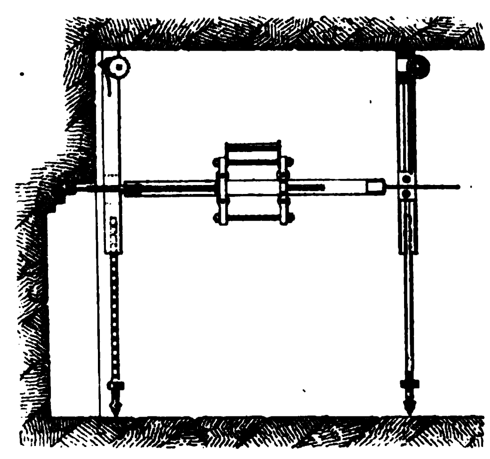
Mais on préfère presque toujours les instruments tranchants. Je citerai d'abord le trépan, ou ***barre à mine*** (fig. 140). Le mineur soulève l'outil et le laisse retomber par son poids. Dans les travaux à ciel ouvert, et toutes les fois que l'on dispose de la place nécessaire pour forer de grands coups de mine, sans se préoccuper de la solidité des parois, on manœuvre des barres à mine à deux hommes, plus longues et plus lourdes [1].


Fig. 140. Barre à mine.

Quand le trou de mine n'est plus vertical, la manœuvre précédente deviendrait difficile et manquerait de précision. M. Delahaye a proposé à cet égard un système (fig. 141) formé de deux montants analogues à celui du perforateur Lisbet. On y dispose un guide parcouru par un curseur porte-outil, auquel se fixe le trépan. Les hommes n'ont plus qu'à écarter ce chariot du front de taille et à l'y lancer à force de bras. Ils se trouvent dispensés d'en supporter le poids.

La perforatrice Konyves-toth [2] repose sur un principe analogue, mais avec un dispositif moins encombrant.

M. Berreins avait même proposé, pour permettre de mouvoir un plus fort trépan, d'associer les efforts d'un certain


Fig. 141. Perforateur Delahaye.

(1) On en a employé d'une longueur de sept mètres, à la carrière du Pouzin (Ardèche).
(2) *Bull. min.*, 2e, VIII, 924.

nombre d'hommes placés dans la galerie, et agissant à peu près comme les rameurs dans une barque ([1]). Ces procédés ne paraissent pas s'être répandus.

167 — *Fleuret et massette.* — Mais tous les modes précédents doivent être considérés comme exceptionnels, et j'ai tenu à les résumer tout d'abord. Le moyen classique de forage des trous de mines consiste dans l'emploi du ***fleuret*** ou ***burin*** (fig. 142), sorte de long ciseau que le mineur tient d'une main, pendant que de l'autre il le frappe avec une massette (fig. 128).

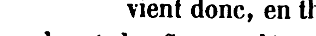


Fig. 142. Fleuret.

Rationnellement, cependant, ce procédé ne vaut pas l'emploi de la barre à mine ; car, au choc unique de cette dernière contre le rocher, pour exercer l'effet utile de désagrégation moléculaire, il substitue le système de deux chocs, dont l'un, inutile en principe, est par cela seul nuisible : celui de la massette contre le fleuret. Tout au moins doit-on chercher à réduire la perte de force vive produite par ce dernier. Or la théorie enseigne que cette perte, dans le choc d'un corps mobile contre un objet fixe, diminue avec le rapport des masses du corps choqué et du corps choquant. Il convient donc, en thèse générale, d'employer des massettes lourdes et des fleurets légers.

Parfois le travail se fait à deux hommes, et la masse est manœuvrée à deux mains par l'un des ouvriers, pendant que l'autre maintient avec les siennes le fleuret, dans la direction que l'on veut imprimer au trou de mine. Au bout d'un certain temps, les rôles changent, et le premier mineur se repose en tenant le burin, tandis que son camarade assène à son tour les coups de masse. La discussion d'un grand nombre d'observations semble montrer que le travail ordinaire, effectué par un seul homme, est plus économique que ce dernier mode ([2]).

([1]) Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 214.
([2]) Havrez, *Rev. univ. d. m. et u.*, XXXIX, 489.

168 — Le fleuret est une barre de fer ronde ou carrée. Elle est aciérée à l'extrémité. On peut aussi, pour l'alléger, la former entièrement d'acier. On tourne l'instrument d'un certain angle à chaque coup, pour éviter qu'il ne se coince dans la fente, et pour assurer la forme circulaire du trou (1). Le tranchant n'est pas rectiligne, mais légèrement courbe. Il est un peu plus long que le corps de l'outil, afin que celui-ci reste bien libre dans le trou. Quelquefois, mais rarement, il est muni sur les deux côtés de petites ailes courbes destinées à aléser le trou, et qui donnent au ciseau, en coupe transversale, la forme d'un Z. On a même proposé le fleuret en double Z, en associant deux semblables tranchants à angle droit l'un sur l'autre. Mais ces formes compliquées nécessitent un supplément de dépense et de difficultés pour les réparations.

Pour peu que la profondeur du trou de mine ait quelque importance, on emploie successivement pour l'atteindre plusieurs fleurets différents : trois, ou même quatre, en général. Les premiers sont plus courts, pour ne pas embarrasser par un excès de longueur, alors inutile. Ils sont un peu plus larges que le diamètre final, et de calibres décroissants au fur et à mesure qu'ils s'allongent, afin que le dernier, qui présente exactement le diamètre voulu, puisse manœuvrer à l'aise dans le vide pratiqué par les précédents, même avec de légers défauts de rectilignité.

169 — On a cherché à augmenter le diamètre du fond, tout en diminuant celui du trou lui-même, afin d'obtenir, pour la matière explosive, avec le minimum de perforation totale, un logement aussi concentré que possible dans la profondeur. Divers procédés ont été proposés à cet égard.

On a employé l'attaque par les acides; mais cette méthode ne convient guère qu'aux calcaires et manque de régularité.

(1) Cette précaution ne suffit même pas encore complètement. Il peut arriver, avec des ouvriers inexpérimentés, que la section affecte des formes polygonales, telles que celle de l'organe de machines connu sous le nom d'*excentrique triangulaire* (fig. 143), les rotations s'effectuant successivement autour des divers sommets de ce polygone, dont les côtés sont formés d'arcs de cercle.

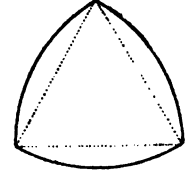
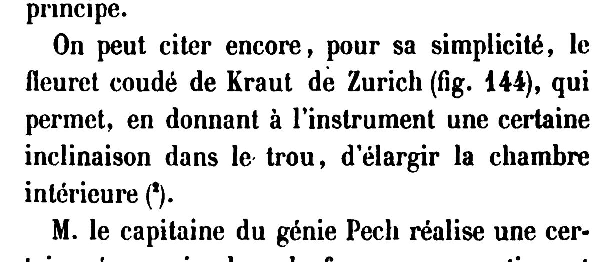


Fig. 143.

On a proposé des élargisseurs, analogues à ceux du sondage [1], qui, après leur introduction à travers un passage étroit, s'épanouissent pour travailler sur un plus grand diamètre. Mais leur complication ôte à peu près toute valeur pratique à ce principe.

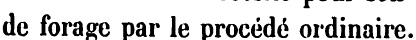


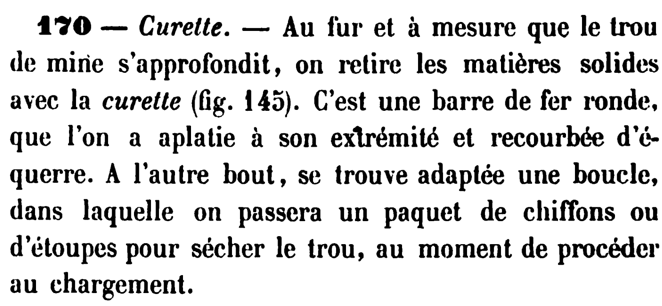
Fig. 144.
Fleuret recourbé.



On peut citer encore, pour sa simplicité, le fleuret coudé de Kraut de Zurich (fig. 144), qui permet, en donnant à l'instrument une certaine inclinaison dans le trou, d'élargir la chambre intérieure [2].

M. le capitaine du génie Pech réalise une certaine économie dans le forage, en pratiquant deux ou plusieurs trous parallèles très voisins, et chargeant l'un d'eux à très faible dose. L'inflammation a pour unique effet de crever et de détruire les parois, en réunissant les excavations en une seule. On vide alors cet espace et l'on peut y installer une forte charge, qui aurait nécessité pour son logement un plus grand travail de forage par le procédé ordinaire.





170 — *Curette.* — Au fur et à mesure que le trou de mine s'approfondit, on retire les matières solides avec la *curette* (fig. 145). C'est une barre de fer ronde, que l'on a aplatie à son extrémité et recourbée d'équerre. A l'autre bout, se trouve adaptée une boucle, dans laquelle on passera un paquet de chiffons ou d'étoupes pour sécher le trou, au moment de procéder au chargement.

Le trou est en effet ordinairement rempli d'eau. Elle présente d'ailleurs cette utilité de rafraichir les outils et de fixer des poussières, souvent nuisibles à la santé

Fig. 145.
Curette.

[1] Verjus (Ponson, *Supplément du traité d'exploitation des mines de houille*, I, 15). — Courbebaisse (Rziha, Tunnelbau, I, 97.)
[2] *London Journal of arts*, juillet 1854, 49.

de l'ouvrier [1]. C'est au point que l'on a soin de seringuer de l'eau dans le trou de mine, quand elle ne s'y accumule pas naturellement, par exemple dans les forages inclinés vers le haut.

Au dernier moment toutefois, l'eau doit être éliminée de la manière que nous venons de décrire. Si la roche est fissurée et laisse suinter le liquide à travers les parois, il faut glaiser le trou. A cet effet, on le remplit d'argile molle. En y enfonçant ensuite de force la tige du bourroir, on rétablit le trou, en laissant sur sa surface latérale un corroi d'argile qui maintient les eaux.

Si celles-ci tendent simplement à s'introduire par l'orifice, on le défend contre leur invasion au moyen d'un petit bâtardeau en terre glaise élevé tout autour.

Si enfin tous ces moyens échouent, il reste la ressource de tirer sous l'eau, par des moyens spéciaux qui seront indiqués plus loin.

§ 3

CHARGEMENT

171 — *Procédé ordinaire.* — En général la charge des coups de mine varie entre 50 et 500 grammes de poudre. Il est difficile de préciser par des aperçus théoriques [2] la relation la plus convenable entre cette donnée et les conditions variables du tirage. L'habitude de chaque gite en particulier finit par guider d'une manière très sûre, à cet égard, le mineur expérimenté.

Je citerai cependant une règle donnée par Burgoyne et je la traduirai en mesures françaises, en lui faisant subir, pour simplifier

[1] Ces poussières peuvent même devenir vénéneuses, dans les mines de mercure ou d'arsenic. Elles sont, dans tous les cas, encombrantes pour les capillaires du poumon, quand il s'agit des poussiers de charbon qui occasionnent la mélanose, ou des poussières siliceuses qui déterminent des lésions et des crachements de sang. On a employé dans les carrières de meulières de la Ferté-sous-Jouarre (Seine-et-Marne), et un instant dans les houillères de Saint-Eloi (Puy-de-Dôme), des appareils respiratoires, destinés à fixer ces pulvérins sur une éponge humide, à travers laquelle s'effectue la respiration. Mais cet esclavage rebute l'ouvrier qui met de côté son appareil, en sacrifiant l'avenir de sa santé à son insouciance d'un danger dont il n'aperçoit pas l'actualité.

[2] On pourra à cet égard se reporter aux sources citées plus haut (n° 158, note).

son énoncé, une très légère altération, qui est sans importance dans une matière aussi approximative. *La charge de poudre, exprimée en grammes, est égale à la moitié du cube de la distance, exprimée en décimètres, du trou de mine à la face libre la plus rapprochée.* Cette formule se rapporte à des granites non fissurés. Elles fournirait des charges trop fortes pour des roches plus favorables.

172 — Quant à la manière de charger, on ne doit sous aucun prétexte perdre de vue l'axiome suivant : *Ne jamais verser directement la poudre dans le trou.* En effet, les parois resteraient certainement imprégnées de poudre. Par suite, si le bourroir venait à faire feu contre le quartz au commencement du bourrage, l'inflammation se communiquerait à la charge et en déterminerait la déflagration.

Dans certaines exploitations, l'ouvrier se contente de verser avec la poudrière la charge convenable dans un papier, qu'il bouchonne, introduit dans le trou, et pousse avec le bourroir jusqu'au fond. Mais ce procédé lui-même laisse subsister une partie du danger précédent.

La vraie solution est l'emploi de la *cartouche.* Dans toute mine bien organisée, les cartouches sont fabriquées d'avance, emmagasinées dans la poudrière et distribuées aux hommes. Elles consistent en un cylindre de fort papier gris, présentant le calibre voulu. On lui substitue la toile goudronnée, si la roche est humide ; s'il faut tirer sous l'eau, on se sert de cylindres de fer-blanc lutés.

173 — On emploie beaucoup la *poudre comprimée* de Davey [1]. Ces cartouches sont formées d'un simple bloc de poudre, sans aucune enveloppe étrangère. Elles sont cylindriques et percées suivant leur axe, pour qu'on y puisse passer l'étoupille. On constitue les charges en superposant des multiples de ce type fondamental. La poudre comprimée présente l'avantage de condenser la force explosive dans un plus petit espace et, par conséquent, plus près du fond. Elle prévient les soustractions, en mettant la poudre dans un état impropre à tout autre usage qu'au sautage des mines. Elle

[1] *Revue univ. de m. et u.*, 2e, III, 751. — *Revue d'artillerie*, mai 1775.

diminue la production de pulvérin, qui laisse des traces dangereuses partout où passe l'explosif, quand il est à l'état pulvérulent.

M. Ruggieri a introduit la poudre *comprimée-papetée*. Sa cartouche est enveloppée, au moment de la compression, dans un papier fin et gommé, qui fait ensuite corps avec elle, empêche absolument la production du pulvérin par le frottement, point important dans les mines grisouteuses, et procure plus de solidité.

Dans les mines à grisou, les matières explosibles, et les outils nécessaires pour leur emploi, ne doivent être introduits dans les chantiers qu'avec une autorisation spéciale du maître mineur. La poudre ne peut l'être que sous forme de cartouches fournies par l'administration de la mine, et dans des boîtes soigneusement fermées. Ces cartouches ne sont délivrées qu'aux boute-feux autorisés à effectuer le tirage. On ne descend dans la mine que la provision nécessaire pour le travail de vingt-quatre heures environ.

174 — *Tirage au tasseau.* — C'est ici le lieu de décrire une ancienne pratique appelée *tirage au tasseau*. Elle consistait à introduire, indépendamment de la cartouche, un petit cylindre de bois, de diamètre moindre que celui du trou, en renfermant le tout derrière le bourrage.

La première idée qui a donné lieu à la création de cette chambre à air, paraît avoir été une fausse interprétation de ce qui se passe dans les canons de fusil, qu'on voit parfois éclater, quand la charge s'est éloignée du fond, ou que le canon se trouve bouché à la gueule. On concluait de cette observation, que la présence de cet air confiné est favorable à l'augmentation de pression et, par suite, recommandable pour le sautage des roches. Mais cette assimilation est inexacte.

En effet, l'explosion du canon de fusil, quand elle se produit dans ces conditions, tient à ce que les gaz, au lieu de s'échapper avec leur vitesse ordinaire par la bouche, ont dû prolonger leur séjour dans l'âme, soit en se répandant en arrière avant de ressortir en avant, si la charge avait déjà progressé vers l'orifice, soit en prenant le temps de former une tension suffisante pour expulser le bouchon de l'extrémité, avant de se détendre librement. Cette prolongation

de la réaction permet à la poudre de brûler plus complètement, tandis qu'une partie importante de la charge était, avec les anciennes armes, projetée au dehors avant d'opérer sa déflagration, dont l'effet était dès lors perdu. Ce supplément d'action s'effectuant au contraire dans le fusil, on comprend que la pression résultante en devienne d'autant plus élevée, et que le canon arrive à éclater, si son épaisseur n'est pas en état de résister à ce nouvel effort.

Il est clair que ce danger n'existerait plus si le métal était établi dans des conditions de résistance suffisante. Et cela est tellement vrai, que, dans certaines armes prussiennes qui ont précédé le fusil Dreyse, on avait précisément disposé en arrière de la cartouche une chambre à air, en vue de produire cette augmentation de pression et, par suite, de force projective. Seulement on avait, bien entendu, pris le soin de renforcer les épaisseurs.

Or l'assimilation de ce fonctionnement au tirage des mines pèche complètement par la base, car, dans ce cas, tout l'ensemble se trouve confiné, et les conséquences basées sur le ralentissement de l'écoulement libre par un orifice ouvert n'ont plus rien de commun avec la question. On doit par conséquent écarter absolument ce genre d'interprétation.

175 — A la vérité, il en existe un autre plus rationnel, mais qui demande lui-même à être scruté attentivement, pour éviter une conclusion trop hâtive et erronée.

On peut dire que, par la présence du tasseau, le gaz se répandant dans l'espace qui l'environne, agit, pour une même charge de poudre, sur une surface plus grande, et, par conséquent, avec une puissance plus énergique. Cela serait en effet incontestable, si la pression du gaz conservait la même intensité. Mais elle tend à diminuer, par cela seul que l'espace qui lui est offert a augmenté. L'on ne peut donc conclure immédiatement, quant au résultat de ces deux influences qui s'exercent en des sens contraires. Pour dégager cette inconnue, nous préciserons les idées en envisageant deux cas limites, suivant que le diamètre du tasseau est aussi grand, ou aussi petit que possible.

Pour un gros tasseau, remplissant presque tout le diamètre du

trou, le jeu ayant peu d'importance, son influence sur la pression finale est négligeable. Dès lors le résultat annoncé a lieu effectivement, et le tirage au tasseau doit théoriquement augmenter l'efficacité de la charge.

Supposons au contraire le tasseau aussi réduit que possible, de manière à pouvoir en négliger le volume. Appelons v et h le volume et la hauteur de la cartouche, v_1 et h_1, ceux de la travée cylindrique occupée dans le trou de mine par l'ensemble de la cartouche et du tasseau. Les volumes offerts dans l'un et l'autre mode à l'expansion du gaz seront v et v_1, et l'on aura géométriquement :

$$\frac{v}{v_1} = \frac{h}{h_1}.$$

Quant à la loi de la détente réelle du gaz, elle nous est inconnue. Nous ne pouvons, à cet égard, que faire une hypothèse. La plus plausible, quoiqu'on n'y doive voir qu'une grossière approximation, consiste, en se fondant sur l'extrême brièveté du phénomène, à admettre que le temps manque pour des échanges importants de chaleur avec l'enceinte; en d'autres termes, que la détente est *adiabatique*. On sait qu'alors elle est régie par la loi de Laplace :

$$pv^{1,41} = p_1 v_1{}^{1,41},$$

si p et p_1 désignent les pressions dans l'un et l'autre cas; c'est-à-dire, d'après la relation précédente :

$$ph^{1,41} = p_1 h_1{}^{1,41}.$$

Quant à l'effet utile, il se mesure (d'après le principe d'hydrostatique rappelé au n° 164) au moyen du produit de la pression par le rectangle qui forme la section méridienne du cylindre. Du reste, les deux rectangles ayant la même largeur, on peut ne les comparer que par le rapport de leurs hauteurs; de sorte qu'en définitive les

efforts exercés seront dans le rapport des produits ph et p_1h_1. Or on tire de la dernière équation :

$$\frac{ph}{p_1h_1} = \left(\frac{h_1}{h}\right)^{0,11}.$$

Comme on a d'ailleurs :

$$h < h_1,$$

il s'ensuit :

$$p_1h_1 < ph;$$

ce qui montre que l'effet a diminué pour les petits tasseaux, à l'inverse de ce que nous avons constaté pour ceux qui ont un grand diamètre.

176 — Il est donc nécessaire d'employer un gros tasseau; mais, même avec cette précaution, les résultats ont été défavorables à cette pratique. On l'a cependant variée de bien des façons. On a employé d'abord le ***tasseau par dessous***, en insérant le cylindre de bois avant la cartouche. Le ***tasseau par-dessus*** était interposé entre la cartouche et la bourre. Il est difficile d'apercevoir ***a priori*** une différence réelle entre ces deux modes d'action. Le ***tasseau latéral*** avait la forme d'un demi-rondin occupant la moitié du cylindre, tandis que la charge remplissait l'autre. Le ***tasseau central*** était concentrique au trou de mine, et la charge répartie tout autour.

Un principe analogue se retrouve encore dans l'emploi d'un ressort proposé par M. Lagot [1] pour occuper, au fond du trou, un certain espace entre la roche et la cartouche. Cette introduction étant toute récente, on ne peut encore porter sur elle un jugement définitif basé sur une expérience suffisante; mais, ***a priori***, on n'entrevoit pas de différence importante avec les modes précédents.

Disons enfin qu'on a essayé de mélanger à la poudre des matières inertes répandues dans toute la masse, telles que de la sciure de

[1] *CRM*, juin 1881, 147.

bois ou de corne, de la chaux, de la poudre de lycopode, etc. On y peut voir encore le même principe, de l'introduction d'un corps étranger, indéfiniment fragmenté dans le cas actuel, pour augmenter le volume derrière le bourrage. Mais, cette fois, le mode d'application devient décidément détestable. En effet, cette extrême subdivision augmente les surfaces de refroidissement; il est en opposition avec la tendance à la compression de la poudre, pour concentrer le théâtre de son action au plus creux possible; enfin il ajoute aux fumées ordinaires de la poudre des poussières très nuisibles à la respiration, et qui mettent beaucoup de temps à se déposer ou à évacuer le chantier sous l'influence de la ventilation.

§ 4

BOURRAGE

177 — *Instruments.* — L'opération du bourrage se fait à l'aide du bourroir et de l'épinglette.

L'*épinglette* (fig. 146) est une longue aiguille, pointue à une de ses extrémités et terminée à l'autre par un anneau d'un diamètre très supérieur à celui du bourroir. On en fait en fer; mais cette pratique doit être rigoureusement proscrite, comme exposant à faire feu avec le quartz, si un coup mal dirigé applique l'épinglette contre le fond du trou, au lieu de laisser sa pointe dans le sein de la poudre.

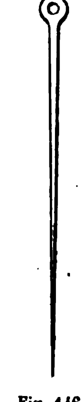


Fig. 146. Épinglette.

Le cuivre rouge ou le laiton, sans assurer rigoureusement le mineur contre cette éventualité, y exposent cependant à un degré beaucoup moindre. Ces matières ont l'inconvénient d'offrir moins de résistance et de se courber facilement. Pour obtenir la même raideur, on est obligé de donner à l'épinglette un plus gros diamètre. Mais alors l'espace qu'elle laisse libre, quand on la retire pour procéder à l'amorçage, augmente le *vent*, c'est-à-dire la perte de gaz au moment de la déflagration, à travers le passage

laissé vide par le retrait de l'épinglette. En outre, ces métaux sont plus chers que le fer.

L'épinglette de bois évite à peu près ces défauts, mais elle est fragile et peut se casser dans le trou, quand on cherche à la retirer.

178 — Le ***bourroir*** (fig. 147 et 148) est une tige d'un diamètre notablement moindre que celui du trou. Elle se termine par un renflement échancré sur un point de sa circonférence, de manière que sa section, au lieu d'avoir la forme d'un cercle, se rapproche de celle d'un croissant. Ce vide est destiné à réserver le logement de l'épinglette.



Fig. 147 et 148. Bourroir (plan et élévation).

Le fer présente pour le bourroir les mêmes inconvénients que pour l'épinglette. Aussi préfère-t-on les bourroirs à bout de cuivre, de laiton, ou même de zinc. Pour éviter que l'autre bout, qui est en fer, puisse par négligence être employé lui-même au bourrage, on doit avoir soin de le terminer par une pomme plus grosse que le tranchant du fleuret, afin qu'elle ne puisse pénétrer dans le trou.

Le bois convient bien, mais il se détruit très rapidement.

M. Lagot a encore proposé le caoutchouc durci, dont l'utilité n'a pas été sanctionnée par l'usage.

179 — *Bourre.* — Les matières employées pour le bourrage doivent être rigoureusement exemptes de quartz et de minéraux d'une dureté analogue, pour ne pas risquer de faire feu pendant le bourrage. On emploie, suivant les circonstances, des saucissons d'argile préparés d'avance, de la brique ou de la tuile pilées, peu cuites, du schiste houiller tendre, du gypse, de la poussière de sel, ou même du plâtre qui fait prise immédiatement.

Ajoutons que certains bourrages font simplement acte de présence sans qu'il y ait lieu de les comprimer à l'aide du bourroir. Ce n'est à la vérité que pour le tirage à la dynamite et non à la poudre ordi-

naire. Tels sont le bourrage au sable ou celui à l'eau. La nitroglycérine peut encore faire explosion au fond du trou sans être recouverte d'aucun corps étranger, tant son action est instantanée.

180 — La cartouche Mac-Nabb [1] interpose une certaine quantité d'eau entre la charge et la bourre. C'est dans la pensée que si le coup *débourre*, ou *fait canon*, cette eau, entrant en vapeur, puisse refroidir les gaz de la déflagration, au point qu'ils sortent du trou déjà obscurcis, et hors d'état d'enflammer le grisou. Cette vue, assez ingénieuse en principe, n'a pas été dans la pratique couronnée de succès. Il ne semble pas que le nouveau dispositif proposé par M. Ruggieri, en partant du même principe [2], doive faire concevoir plus d'espérances.

Il est très mauvais d'interposer, comme le font quelques ouvriers, un tampon de papier entre la charge et la bourre. L'élasticité du papier froissé le ramène dans le trou laissé vide par l'épinglette, au moment où on la retire. Lorsque le feu arrive par ce conduit, au lieu d'atteindre directement la poudre, il s'arrête dans le papier. S'il s'y éteint définitivement, il se produit un raté et l'opération est manquée. Si, au contraire, il continue à se propager lentement et finit par atteindre la charge, on a un long-feu, plus fâcheux encore.

181 — *Bourrage.* — L'opération du bourrage se fait de la manière suivante. L'épinglette étant préalablement bien graissée d'huile ou de suif pour faciliter ultérieurement sa sortie, on l'introduit dans le trou et on la pique dans la cartouche, de manière que sa pointe pénètre certainement dans le sein de la poudre, mais en restant assez loin du fond pour éviter de faire feu contre la roche. On l'appuie alors sur le bord de la paroi.

Le mineur introduit une première bourre, qu'il pousse très doucement au fond, pour éviter de produire l'effet du briquet à air. On sait en effet que ce petit appareil, quand on actionne violemment son piston, peut échauffer l'air, au point de le rendre lumineux dans l'obscurité, ce qui, dans le cas actuel, aurait pour résultat l'inflam-

(1) *CRM*, 1879, 261.
(2) *Pièces annexées*, etc., 2e fasc., 77.

mation de la poudre. Lorsque cette matière est parvenue au fond, on bourre doucement et progressivement.

On ajoute ensuite d'autres bourres, sans avoir besoin de prendre les mêmes précautions. On a soin de tourner de temps en temps l'épinglette sur elle-même, pour éviter qu'elle ne se coince dans son logement.

Lorsque le bourrage est achevé, l'on entoure la partie de l'épinglette qui émerge immédiatement de la bourre, d'une petite collerette d'argile mouillée, pour éviter qu'au moment où on la retirera, les bords, sans cohésion, ne viennent à s'écailler, en laissant tomber dans le trou des fragments qui l'oblitéreraient et prépareraient un raté.

On passe alors le bourroir dans l'anneau de l'épinglette et, en tirant avec les deux mains, ou tournant cette aiguille sur elle-même, on l'arrache du trou de mine. On laisse libre, de cette manière, un passage pour le boute-feu que nous décrirons dans un instant, et qui, allumé à l'extérieur, sera chargé de porter le feu dans le sein de la charge.

182 — Ces moyens d'inflammation tendent du reste à disparaître devant l'emploi de l'étoupille, dont nous parlerons également tout à l'heure. Le bourrage est alors simplifié et rendu plus sûr par la suppression de l'épinglette, devenue inutile.

L'étoupille est une cordelette renfermant, suivant son axe, une traînée de poudre qui brûle avec lenteur. Après l'avoir attachée à la cartouche avec les soins que nous indiquerons dans un instant, on descend celle-ci, suspendue au bout de la cordelette comme un fil à plomb, au fond du trou de mine. On appuie contre la paroi, le tronçon d'étoupille que l'on a coupé de longueur, de manière qu'une certaine portion excède au dehors. Puis, on bourre dans les conditions ordinaires, sauf l'absence de l'épinglette, et en prenant soin de ne pas couper ou éventrer la cordelette.

Pour écarter ce genre de dangers, M. Lagot a proposé (1) l'emploi très judicieux d'un tube ouvert aux deux bouts et à travers lequel

(1) *CRM*, 1881, 147, 151, 188; 1882, 163.

on enfile l'étoupille. Ce tube se place dans l'échancrure du bourroir, comme on le fait pour l'épinglette, mais avec cette différence qu'il ne reste pas comme elle noyé dans la masse de la bourre. On le remonte au contraire, au fur et à mesure, de manière à ce qu'il soit entièrement sorti à la fin du bourrage, après avoir, pendant la durée de cette opération, défendu l'étoupille comme une armure.

183 — La mise en rapports de l'étoupille avec la cartouche doit être faite avec un soin particulier, en vue d'éviter les ratés. On commence par effilocher quelques fils de l'extrémité, et l'on introduit le corps de l'étoupille dans la cartouche, en la nouant à la gorge avec les fils en question.

S'il s'agit de poudre comprimée, on enfile l'étoupille à travers les diverses cartouches que l'on associe en nombre voulu. On coupe en biais son extrémité pour mettre largement à nu par cette section elliptique l'âme de poudre qu'elle renferme, puis on rebrousse ce bout et on le réintroduit par dessous dans l'orifice central de la cartouche inférieure, en appliquant sa surface plane contre la paroi interne de cette cartouche, afin d'assurer la communication du feu. Cette disposition de l'étoupille en forme de boucle ne lui permet pas de remonter, et l'on peut ainsi descendre la charge suspendue à son extrémité.

On met un peu de foin entre les cartouches et la bourre, pour amortir les coups du bourrage. Il ne faut pas d'ailleurs confondre cette pratique avec celle qui vient d'être condamnée (n° 180) et qui consiste à mettre un tampon de papier sur la poudre ordinaire. Ce papier, traversé par l'épinglette, aurait en effet tendance à revenir oblitérer le vide laissé par celle-ci. Mais dans le cas actuel, il n'y a rien de pareil, la cordelette restant présente jusqu'à la fin, et l'inflammation traversant dans son intérieur le foin, tout aussi bien que la bourre.

§ 5

AMORÇAGE

184 — *Boute-feu.* — On peut employer, pour porter le feu à travers le vide laissé par l'épinglette, deux moyens différents : le fétu ou la canette.

Le *fétu* se prépare en prenant une paille de blé et la coupant au-dessous de deux de ses nœuds. On obtient ainsi un vase cylindrique extrêmement étroit et profond. On le remplit de poudre. On attache autour de l'ouverture une petite collerette de terre glaise humide qui sert, après qu'on l'a descendu dans le logement de l'épinglette, à le suspendre à l'orifice de ce conduit. Lorsque la poudre sera enflammée, sa masse s'écoulera hors du fétu sous la forme gazeuse par l'ouverture supérieure, en déterminant, comme pour les fusées, un mouvement de recul de cette paille jusque dans la cartouche, dont elle détermine l'explosion.

La *canette* ou *raquette* est, comme le fétu, fabriquée directement par l'ouvrier qui aura à s'en servir. Il délaye, dans une assiette, une bouillie très claire de poudre et d'eau gommée. Il y trempe des feuilles de papier coupées à la grandeur convenable, et les roule ensuite sur la pointe de l'épinglette, sous la forme de petits cônes très allongés. On les sèche à une chaleur douce. Au moment de s'en servir, on enfile, les uns dans les autres, un nombre suffisant de ces cornets, que l'on introduit ensemble dans le vide laissé par l'épinglette jusqu'à la cartouche. Le feu, mis à l'extrémité, se propagera jusqu'à l'autre, au contact de la charge.

185 — Pour le fétu, comme pour la canette, le temps de la propagation serait infiniment trop court pour la retraite du fire-man chargé de l'inflammation. Un intermédiaire à combustion lente est indispensable: c'est la *mèche soufrée.* On l'obtient en plongeant dans du soufre fondu des mèches de coton. Au moment de s'en servir, on la coupe de la longueur voulue, d'après sa vitesse de combustion que le mineur connaît approximativement par son expé-

rience. Il passe ce fragment dans la flamme de la lampe, afin que ce flambage détruise à coup sûr les traces de poudre qui auraient pu rester adhérentes à la mèche dans ce maniement, et qui communiqueraient le feu avec une rapidité instantanée sur toute sa longueur. On fixe cette mèche à l'amorce avec un peu de suif. Si le courant d'air est modéré, on la tourne à l'inverse de la ventilation, de manière à ce que celle-ci rabatte la flamme sur la mèche. Si le vent est violent, on dispose un abri pour éviter qu'il ne l'éteigne. Tout est prêt alors pour l'inflammation.

Ces divers modes d'amorçage produisent de la flamme. Ils doivent donc être absolument proscrits des mines grisouteuses et remplacés par l'étoupille de sûreté. Ils sont, du reste, aujourd'hui bien surannés, même en dehors de cette circonstance.

186 — *Étoupille de sûreté.* — L'étoupille de Bickford, dont l'usage prévaut de plus en plus, transmet le feu par l'intérieur avec une vitesse d'environ $1^{m},25$ par minute, que la compression, plus ou moins prononcée, du bourrage peut réduire jusqu'à $0^{m},50$. Elle donne plus de sécurité en supprimant la flamme, une régularité plus grande pour éviter les ratés, et plus de force par la suppression du vent qui s'échappe à travers le vide laissé par l'épinglette.

On distingue l'*étoupille blanche* et l'*étoupille goudronnée*. Cette dernière a l'avantage de permettre de tirer sous l'eau. Mais, en revanche, elle donne encore de la flamme par la combustion du goudron, ce qui doit la faire bannir des gîtes grisouteux. L'étoupille blanche elle-même ne garantit pas d'une manière absolue contre ce genre de dangers, lorsque, par suite d'un défaut de fabrication ou d'une avarie subie au moment même, elle vient à se trouver fendue. L'âme de poudre, ainsi mise à nu, ne manquera pas de fuser avec production de flamme par cet orifice, s'il se trouve à l'air libre. On doit donc examiner attentivement le bout d'étoupille que l'on emploie. On se trouve d'ailleurs à la merci d'une mauvaise fabrication qui, par un serrage insuffisant, laisserait la vitesse gagner sur les prévisions.

Ces fusées coûtent par rouleau de dix mètres : 0 fr. 55 c. pour

les mèches blanches ou goudronnées ; 1 fr. 10 c. pour les étoupilles nettement imperméables, et 1 fr. 50 c. quand elles sont revêtues de gutta-percha.

§ 6

INFLAMMATION

187 — *Tir par volées.* — Le coup de mine, une fois chargé, peut être tiré de suite. Dans d'autres cas, on attend certaines heures déterminées pour la coordination des services, ou encore la réunion de plusieurs pétards, en vue d'associer leurs efforts et d'en augmenter les résultats.

On peut, en effet, concevoir, qu'à la sphère décidément destructive d'un coup de mine, variable avec l'importance de sa charge et la cohésion de la roche, s'ajoute une zone d'ébranlement, insuffisant pour amener à lui seul la disjonction. Cet espace rentrera après certaines oscillations dans son repos initial. Mais si l'on superpose sur un même point, pour un même instant, plusieurs zones de cette nature, l'importance de l'ébranlement, ainsi totalisé, pourra s'élever jusqu'au degré suffisant pour la rupture; lequel n'eût pas été atteint, si les secousses s'étaient opérées d'une manière successive, chacune après l'extinction de la précédente [1].

On a objecté, à la vérité, que la vibration produite par l'un des fourneaux peut venir justement annuler l'oscillation voisine, les coups *se calant* mutuellement [2]. Mais l'on devra bien plutôt compter à cet égard sur une influence favorable à la destruction. En effet, l'interférence absolue de deux vibrations exige à la fois la coïncidence des directions dans deux sens opposés, avec l'égalité des amplitudes, tandis que des résultantes quelconques et enchevêtrées pourront naître de directions et d'intensités diverses.

Ce qui ôtait autrefois à cette discussion beaucoup de son importance, était la très grande difficulté d'arriver à la simultanéité des

(1) Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 174.

(2) Expériences de M. Baure (Alfred Evrard, *Traité pratique de l'exploitation des mines*, I, 80).

explosions. Les calculs faits à cet égard d'après les longueurs de mèche, les vitesses de combustion, les temps de mise en feu, ne pouvaient réaliser qu'une grossière approximation; tandis que la durée des phénomènes qu'il s'agit de faire coïncider est d'une extrême brièveté. Mais l'introduction du tir électrique, en assurant l'identité rigoureuse des époques d'inflammation, a rendu au mode de sautage, par volées de coups de mine, toute sa valeur [1].

188 — *Mise en feu.* — Lorsque le moment est venu, le mineur s'assure que toutes ses amorces sont en état. S'il s'agit d'une houillère grisouteuse, il vérifie l'état de l'atmosphère et ne risquera sous aucun prétexte le tirage, s'il constate la présence de la plus petite quantité de gaz. Lorsque plusieurs pétards doivent être tirés successivement, il est nécessaire de refaire cette constatation, entre chaque explosion et l'allumage du coup suivant. En effet, la compression éprouvée par la roche, peut en faire sortir le grisou, comme on ferait sortir l'eau d'une éponge mouillée en la serrant; de telle sorte que l'atmosphère, dont la pureté aurait été constatée avant la première inflammation, peut être devenue, par là même, grisouteuse et dangereuse pour la suivante.

Sous ce rapport, il est bon, au lieu de laisser chaque piqueur allumer ses coups de mine, d'employer des *fire-men* spéciaux, non intéressés dans le travail de chaque chantier, afin d'éviter qu'ils ne se sentent sollicités à quelque témérité par l'appât du gain et pour

[1] On ne saurait donner une idée plus grandiose de la puissance de ce mode d'association des coups de mine, qu'en esquissant les données du sautage sous-marin de Hallet's Point, effectué à New-York le 24 septembre 1878, sous la direction du général Newton. On perça un réseau de galeries, concentriques ou rayonnantes, formant un total de 2262 mètres de développement et un vide de 37 827 mètres cubes. Les massifs restant représentaient 48 000 mètres cubes. On y pratiqua 6455 trous de mine de $0^m,075$, et 578 de $0^m,050$, mesurant ensemble 17 228 mètres de longueur. Le total de la charge, égal à 49 915 kilogrammes de dynamite, de rend-rock et de vulcan-powder, représente environ 468 grammes par mètre cube de roche à dépiler. On employa pour le tirage simultané 23 batteries électriques, comprenant 960 éléments au bichromate. Les frais s'élevèrent à 5 560 000 francs, et l'on n'eut aucun accident à déplorer. (Report by lieutenant-colonel Newton upon the destruction of the reef at Hallet's Point, chambre des représentants, 44e congrès, n° 244. — *The Engineer*, 1876, 217 et 279. — *La Dynamite, ses caractères et ses effets*, publié par la Société Nobel, 1878, 140. — Lagasse, *Revue des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, 1877, 274).

éviter des retards. Souvent même le tirage ne se fait qu'après que tout le poste est sorti, à l'exception des seuls *fire-men*.

Quand toutes les précautions préalables ont été prises par le mineur, il pousse les cris d'avertissement en usage, pour éloigner tout le personnel du théâtre de l'explosion. Ses camarades, et lui-même, garderont en outre, à la distance nécessaire pour leur sûreté personnelle, les avenues du chantier, afin d'arrêter au passage les hommes qui surviendraient sans avoir entendu les signaux. S'il s'agit d'un puits en fonçage, le mineur s'assure que son échelle est disposée, pour qu'il puisse monter rapidement à la *caponnière* la plus prochaine, sorte de niche pratiquée dans la roche. Plus ordinairement, il avertit par un signal le mécanicien, et attend sa réponse, pour être assuré que celui-ci se tient prêt à l'enlever dans la benne à une grande hauteur.

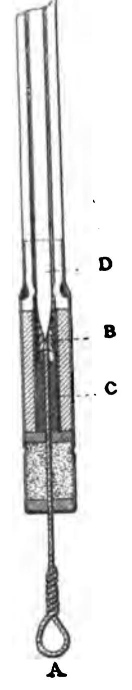


Fig. 149. Étoupille de friction Ruggieri.

189 — A ce moment, il allume la mèche soufrée avec sa lampe et bat en retraite. S'il s'agit de mines grisouteuses, d'où la flamme doive être proscrite, ainsi par conséquent que l'emploi de la mèche soufrée, le mineur bat le briquet avec de l'amadou, ou bien il attire, en aspirant avec une paille, la flamme de la lampe de sûreté au contact de la toile métallique, en y tenant appliqué l'amadou. Ce moyen ne peut du reste être employé qu'avec les lampes à simple tamis, et ne saurait convenir aux lampes Mueseler à cheminée et diaphragme. On a également la ressource d'allumer l'amadou avec un fil de fer, assez fin pour pouvoir passer à travers la toile et rougir dans la flamme. Avec cet amadou incandescent, on communique le feu à l'étoupille blanche.

M. Lagot a proposé l'usage du *charbon nitré*, qui brûle sans flamme et d'une manière permanente au fond d'un tube ouvert par le haut, et dans lequel on plonge le bout de l'étoupille; comme on

faisait autrefois avec l'allumette dans le briquet phosphorique ([1]).

On peut enfin écarter ces difficultés par l'emploi des *rugueux* de l'artillerie (fig. 149), dont M. Ruggieri propose l'introduction dans le tir des mines ([2]). En A est attachée une longue ficelle, que le mineur tirera de loin après s'être mis en sûreté. Elle sert à amener le rugueux B dans le fulminate C, qui s'enflamme et allume la matière fusante D. Celle-ci recule, et porte le feu dans la charge. Cette étoupille de friction est en effet engagée dans un trou pratiqué avec l'épinglette, comme pour les canettes. M. Ruggieri compte sur cette disposition pour éviter les longs-feux.

190. — M. Bustin est l'auteur d'une proposition ([3]) consistant à rendre inoffensif le grisou dans le tirage des mines par l'emploi de l'acide carbonique qui, à la dose de un septième, suivant cet ingénieur, paralyserait son action. A cet effet, entre le moment de l'allumage et celui de l'explosion, on répand dans l'atmosphère l'acide carbonique qui a été comprimé dans un réservoir portatif, en ouvrant la tubulure dès qu'on a mis le feu à l'étoupille.

Lorsque toutes les précautions ont été reconnues insuffisantes pour garantir contre les accidents dans les chantiers grisouteux, l'*ultima ratio* est la prohibition absolue de l'emploi des explosifs, et leur remplacement par les aiguilles infernales (n° 147), le bosseyage mécanique (n° 205), les leviers hydrauliques (n° 149), le tirage à la chaux (n° 153). Ces succédanés sont alors d'autant mieux indiqués, que les massifs les plus grisouteux sont souvent ceux qui se délitent le plus, en facilitant l'abatage. Il doit être de règle que, lorsque le tirage à la poudre a été interdit dans une taille, tous les instruments relatifs à ce travail soient remontés au jour.

191 — *Tir électrique.* — L'emploi de l'électricité ([4]) pour le tirage

([1]) *CRM*, juin 1881, 147.

([2]) Ruggieri. *Notice* sur un nouveau procédé de mise en feu des mines avec la poudre. Paris, 1878. — Aguillon. *Pièces annexées*, etc., 2e fasc., 74.

([3]) *CRM*, 1881, 177. — *Rev. univ. des m. et u.*, 1881. — *La Houille*, 5 juin 1881.

([4]) Castel, *Annales*, 5e, II, 8; — Jutier, *Annales*, 7e, XVI, 243; — Ollier, *CRM*, juillet 1877, 3; — Helliot, *CRM*, août 1878, 85; — Grille, *Bull. min.*, 2e, I, 779. — Tirage par l'électricité, *Rev. univ. d. m. et u.* XXVII; — Guchez, *Rev. univ. d. m. et u.*, XXIX,

des mines remonte à Priestley en 1767. Il se recommande par un grand nombre d'avantages. Il assure la simultanéité rigoureuse avec le tir par volées. Il évite toute production de flamme dans l'amorçage, point essentiel pour les mines grisouteuses. Il permet de tirer d'aussi loin que l'on veut, et même sans la présence d'un seul homme dans la mine, de manière à réduire, à coup sûr, à de simples dégâts matériels, les dangers d'une explosion de grisou produite par les coups qui débourrent. Il permet même de tirer sous l'eau. Il évite les fumées goudronneuses des étoupilles, encore plus nuisibles que celles de la poudre. Il supprime la possibilité des longs-feux : le coup qui n'est pas parti ne partira plus.

On peut employer pour ce tir deux modes d'accouplement : par *embranchement*, avec un fil de platine porté au rouge; ou par *circuit*, en excitant l'étincelle au moyen d'une courte interruption des conducteurs. Ce dernier système a paru le plus simple.

Trois sources d'électricité peuvent être mises en usage : d'abord les piles; en second lieu les appareils d'électricité statique, tels que ceux d'Abbeg, Bernhardt, Ebner, Elsner; enfin, et surtout, les machines d'induction de Breguet, Halske, Henley, Marius, Ruhmkorpf, Siemens, Skidmore, Wheatstone.

Quant aux conducteurs, le fil de fer, numéros 10 à 15, sert dans les emplacements secs. Pour des puits humides, il faut avoir recours au cuivre recouvert de gutta-percha, de section diminuée de haut en bas pour soulager son poids, et pincé tous les cent mètres dans des points d'appui enduits à la gutta. Le retour se fait par un fil spécial et non par la terre. Des fils moins chers relient d'une manière immédiate les conducteurs principaux aux fourneaux, dont l'explosion risque de les détruire. Il faut, dans les mines grisouteuses, apporter un soin attentif à l'établissement des conducteurs, pour qu'il ne puisse se produire d'étincelles.

En ce qui concerne l'amorce, la poudre suffit avec un fil porté

235; — Habets, *Rev. univ. d. m. et u.*, XXXVI, 75; — Pérard, *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, V, 379; — Lenicque, *Pièces annexées*, etc., 2e fasc. 229; — Champrois et Pellet, Applications de l'électricité à l'art des mines, *Annales de physique*, mai 1875; — Julius Striedinger, on igniting blasts by means of electricity, *Transactions of the American Society of civil Engineers*, janvier 1878.

au rouge. Mais l'emploi de l'étincelle exige des amorces spéciales, formées de sulfure d'antimoine et de chlorate de potasse en parties égales, ou de compositions analogues plus complexes. On les place dans un petit cylindre de mastic isolant, au sein duquel les fils de cuivre s'approchent jusqu'à un quart de millimètre l'un de l'autre. Pour installer ce système dans la cartouche au fond du trou, on a renoncé à peu près aux anciennes baguettes de bois, dans lesquelles les fils étaient incrustés de manière à ne pouvoir se toucher On emploie des fils tissés comme les étoupilles, ou mieux, des bandes électriques, dans lesquelles les fils sont isolés à l'aide de papier fort, enduit de poix.

192 — *Raté, longs-feux, débourrage.* — On ne doit revenir au chantier qu'après avoir entendu le coup. Si l'on en a allumé un certain nombre, on compte soigneusement les détonations, et il est bien important pour cela de se mettre en garde contre l'effet des échos. Dans le tir par volées simultanées, l'on n'a aucun moyen d'acquérir la certitude que tous les coups sont partis.

Un certain nombre peuvent s'éteindre complètement; ils forment les *ratés*. D'autres peuvent être plus ou moins retardés par des causes quelconques, et constituent les *longs-feux*, danger redoutable, car si l'on croit à un raté après un certain temps de silence, on peut revenir et recevoir le coup. Il y a d'ailleurs incertitude sur l'emplacement de ceux des pétards dont on n'a pas entendu l'explosion. Il faut donc, pour ces motifs, imposer des règles de prudence absolue. On ne doit revenir au coup qu'après une durée d'une demi-heure au minimum. Certains règlements ne permettent le retour au chantier que pour le lendemain.

Avec l'ancien système de tir, on enlevait souvent les amorces des ratés en les remplaçant par d'autres, pour essayer une nouvelle inflammation. On employait même une pratique excessivement dangereuse, consistant à repasser l'épinglette dans son logement, quand on le suspectait de s'être encombré. On risquait ainsi de pousser dans la poudre des matières embrasées, dans lesquelles le feu couvait avec lenteur.

On procédait encore au débourrage des ratés, pour en chercher le

défaut, les remettre en état et les faire partir. Cet usage est inadmissible. Il convient, tout au moins, de noyer les coups de mine que l'on jugerait nécessaire de débourrer. Mais, ordinairement, le règlement interdit tout débourrage. Comme il est d'ailleurs dangereux de laisser subsister le chargement, on pratique un second fourneau très près du premier, et l'explosion, en détruisant la paroi intermédiaire, fait sauter l'ancienne charge.

193 — Il peut arriver qu'un coup manque son effet utile, sans constituer un long-feu ni un raté; soit en faisant canon et chassant sa bourre, par suite d'un défaut de serrage ou d'une disproportion entre la charge et la masse à disjoindre; soit en produisant une détonation très réduite, parce que les gaz auront filtré à travers les fissures de la roche. Dans le premier cas, on pourrait à la rigueur se servir de nouveau du trou qui a été foré, en employant les précautions convenables, s'il est encore en état de servir; mais il serait bien inutile d'insister dans la seconde de ces circonstances, car, la cause n'étant pas modifiée, le même effet ne manquerait pas de se reproduire.

§ 7

EXPLOSIFS DIVERS

194 — *Propriétés des explosifs.* — L'emploi de la poudre pour le sautage des roches a constitué un progrès absolument décisif dans les travaux souterrains. Il a permis d'exploiter économiquement des mines que l'on n'aurait pu attaquer autrement, ou que le renchérissement progressif de la main-d'œuvre eût obligé de fermer.

En effet, cet agent, dont on peut augmenter à volonté la puissance sur un point donné, permet de détacher d'un seul coup des blocs considérables de roche, lorsque leur dureté excessive eût réduit sans cela à l'emploi de la pointerolle. Le piqueur aurait donc dû fournir, indépendamment du travail moléculaire relatif à la disjonction de ces surfaces de séparation, celui du dépècement complet de la masse en fragments minimes, tels que ceux que débite cet

instrument. De là une énorme disproportion, qui est toute à l'avantage de l'emploi de la poudre.

195 — Cependant, si, en nous plaçant à un point de vue tout à fait différent, nous examinons la manière dont on dépense la capacité de travail que recèle en lui-même l'explosif mis en jeu, nous arriverons facilement à constater une utilisation détestable sous ce rapport. Il ne s'agit plus, en effet, ici d'obtenir les effets de l'artillerie, dont le but est de porter à une grande distance un projectile avec une force vive considérable, en lui communiquant cette dernière par une dépense de travail effectuée sur un parcours d'une certaine importance, en rapport avec la longueur de la pièce. Ici, au contraire, on ne demande aux moyens mis en œuvre que de faire franchir la sphère d'action des forces de cohésion, et cette étendue est, pour ainsi dire, inappréciable. Tout ce qu'on produira en sus comme déplacement effectué et vitesse communiquée, est, non seulement inutile, mais dangereux.

Or, le moyen d'action que l'on met en jeu, pour développer le travail, est la détente d'un gaz. Le nombre de kilogrammètres qui correspond à un changement de volume défini n'est pas déterminé *à priori;* il dépend, d'après les théories de la thermodynamique, des circonstances de cette dilatation. Mais, quelles que soient ces conditions, et, par suite, la loi de la production du travail, il est certain que, si les limites de la variation du volume viennent à se resserrer indéfiniment, la production de puissance dynamique diminue elle-même au delà de toutes limites. Par conséquent, la portion utilisée, qui correspond à un aussi faible changement de volume, ne sera qu'une très petite fraction de celle qui continuera ensuite à se développer, dans l'énorme expansion qui suivra ce premier pas à franchir. En d'autres termes, le rendement utile de la dépense nécessaire à effectuer sera des moins satisfaisants. Tout le reste de la puissance mise en jeu passera en effets de projection, de déformations inutiles, de vibrations perdues dans le sol, ou dans l'atmosphère sous la forme sonore, de chaleur sensible, etc.

196 — Quant à l'action utile réalisée, il y a lieu de distinguer

avec soin deux points de vue essentiels. D'abord son intensité statique, d'après laquelle chaque mètre carré de surface de contact finira par supporter un effort donné, quelles que soient les conditions qui auront présidé au développement progressif de cette pression. En second lieu, la rapidité de cette production, qui permettra de concentrer l'effort de déchirement sur le foyer même de production, avant que les forces mises en action aient eu le temps de se transmettre au loin, en établissant la roche en tension, de manière à faire intervenir en antagonisme une plus grande quantité de ressorts moléculaires. Suivant que ces deux qualités se trouvent particulièrement caractérisées dans une poudre de mine, elle est dite plus ou moins *forte*, ou plus ou moins *brisante*.

La force d'une poudre dépend de deux facteurs. D'une part le volume (réduit aux conditions normales de la température de la glace fondante et de la pression de $0^m,76$ de mercure, pour rendre les chiffres comparables) du gaz fourni par 1 kilogramme de l'explosif; en second lieu, la température effective qui prend naissance dans la réaction chimique mise en jeu, et qui tend à déterminer une dilatation d'autant plus marquée de ce volume normal. Il va sans dire qu'entre une poudre *faible* et une poudre *forte* on n'hésitera pas, et que l'on préférera cette dernière.

Mais le choix n'est plus aussi simple entre une poudre *brisante* et une poudre *lente*. Il dépendra surtout de l'appropriation de leurs propriétés à celles de la roche. Une poudre brisante produit beaucoup de déchirements du côté de la surface dégagée, elle broie le massif du côté opposé. Elle donne peu de projections, elle n'exige qu'un bourrage plus sommaire. Les plus brisantes se passent même complètement de bourrage. Les poudres lentes ont des propriétés exactement inverses. Il est clair qu'une roche friable, comme le sont l'ardoise, le calcaire, la plupart des houilles, serait broyée sans utilité dans un faible rayon par une poudre brisante; et, en même temps, qu'une roche fendillée laisserait perdre, avec le gaz, toute la puissance d'une poudre lente.

L'idéal d'un explosif pour les besoins du sautage des roches pourrait se formuler à peu près dans les termes suivants : une grande force sous un faible volume, une déflagration instantanée.

un chargement nécessitant peu de précautions, un allumage simple sans moyens dispendieux, des fumées peu abondantes et inoffensives, une sécurité relative dans la fabrication, ainsi qu'une stabilité suffisante pour supporter les transports et les variations de climat, une certaine résistance à l'action de l'eau, de manière à se conserver dans l'humidité et à permettre de tirer sous l'eau. Il est inutile d'ajouter que les divers termes d'un pareil programme seront souvent en opposition les uns avec les autres, et que d'ailleurs tous ne seront pas, à la fois, nécessaires au même degré. La poursuite de ces divers desiderata, dans l'étude des explosifs, a conduit à une multitude de variétés dont nous allons dire quelques mots.

197 — *Composition des explosifs.* — La *poudre de mine* normale présente la composition suivante :

Salpêtre	65
Soufre	20
Charbon	15
	100

Elle diffère notablement de celles de la poudre de guerre et de la poudre de chasse. La densité sous volume *apparent* est 0,941. La pression des gaz développés par la déflagration d'un kilogramme de poudre dans un litre, aurait pour valeur, d'après MM. Noble et Abel, 6400 atmosphères. On a du reste donné à cet égard les chiffres les plus discordants. Un kilogramme de poudre de mine développe dans le sautage à peu près 270 000 kilogrammètres [1], tandis que le travail disponible, d'après les calories développées, paraît être de 325 000 kilogrammètres [2]. Le prix du kilogramme est de 2 fr. 50.

La poudre doit avoir un grain égal, dur, sans poussière, ne tachant pas la peau. L'humidité condensée par hygroscopicité lui fait perdre sa force, qui renaît par la dessiccation. Mais la poudre

[1] Biver, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 830.
[2] Berthelot, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXI, 619, 667, 709; LXXXII, 469. — Roux et Sarrau, *Ibidem*, LXXIX, 757. — Noble et Abel, *Ibidem*, LXXXII, 489.

mouillée ne peut plus servir. On la conserve dans des barils ou des sacs de cuir, et dans des lieux très secs. Les poudrières doivent être éloignées de toute habitation. Il est bon, quand leurs diverses faces présentent des degrés de danger différents, d'après les circonstances du voisinage, de construire très solidement les murs importants, et, avec une légèreté intentionnelle, le côté le moins dangereux, afin qu'en cas d'explosion, ce dernier soit nettement emporté par la violence du coup, avant que la pression devienne capable de détruire les autres.

198 — De nombreuses modifications ont été apportées à la composition type que nous venons de formuler.

On a essayé de diminuer la proportion de soufre, qui ne joue pas dans l'ensemble un rôle aussi fondamental que les deux autres éléments.

On a cherché également, en raison du prix élevé et de la rareté du salpêtre, à lui substituer d'autres azotates, tels que ceux de soude, d'ammoniaque, de baryte, de chaux, de magnésie.

On a de même remplacé, pour ces diverses bases, l'acide nitrique par l'acide chlorique.

Le charbon de bourdaine ou de fusain, qui est ordinairement employé pour la fabrication de la poudre, a lui-même quelquefois cédé la place à des succédanés, tels que la sciure de bois, le tan, la râpure de noix de galle, etc.

De toutes ces tentatives, aucune ne paraît avoir eu un résultat pratique de quelque intérêt, si l'on excepte la substitution de la soude à la potasse. Le principal obstacle que rencontre cette modification provient de l'hygroscopicité des sels sodiques, au moins dans les conditions où les livre le commerce. Cependant certains indices portent à penser qu'il pourrait n'y avoir là qu'une question de purification.

Mais la révolution la plus importante qui ait été apportée dans la constitution des explosifs, a été l'introduction des produits azotés autres que les nitrates, à savoir : les prussiates, les picrates, le pyroxyle, et la nitroglycérine. Ces deux derniers corps [1], et tout

[1] On a indiqué, en ce qui concerne la puissance comparative de ces explosifs, les

particulièrement le dernier, sont à peu près les seuls que la pratique courante ait conservés comme bases des nouvelles préparations. C'est, par suite, sur eux seuls que je me contenterai d'insister (1). Des formules innombrables ont été proposées à cet égard. Le plus grand nombre ne sont que des variantes sans valeur. Quelques-unes, au contraire, sont journellement l'objet d'études très sérieuses, mais encore trop circonscrites dans le champ des applications, et dont le détail doit être laissé aux ouvrages spéciaux (2).

chiffres suivants, obtenus en multipliant par l'équivalent mécanique de la chaleur, le nombre de calories développées par la déflagration d'un kilogramme de la substance :

Poudre	370 000 kgm.
Coton-poudre	489 000 —
Nitroglycérine	778 000 —

(Thuron, *Génie civil*, III, 475). On remarquera une différence entre le nombre relatif à la poudre et celui que nous avons déjà donné d'après d'autres sources.

(1) Harlé, application de la nitroglycérine au tirage des mines, *Annales*, 6e, XIX. — Nordenström et Cronquist, *On nitroglycerinhaltiga sprängömmen*, Stockholm, 1880. — Brüll, études sur la nitroglycérine et la dynamite, *Mémoires des ingénieurs civils*. — Hess, volatilité de la nitroglycérine dans la dynamite, *Journal d'artillerie* de Vienne, 1876, 117. — Champion, *La dynamite et la nitroglycérine*, Paris, chez Baudry.— Brüll, dynamite et nitroglycérine, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, IV, 493, 562, 659. — *La dynamite, ses caractères et ses effets*, Société Nobel, Paris, 1878. — *Mode d'emploi de la dynamite*, Société Nobel, Paris, 1876. — Roux, conférence sur la dynamite, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VII, 628 et *Bulletin de l'Association scientifique de France*, nos 633, 635. — Brüll, *Notice* sur la dynamite, Montpellier, chez Boehn. — Barbe et Brüll, expériences sur la dynamite, *Annales*, 6e, XX, 662. — Barbe, *Études pratiques sur la dynamite*, Paris, chez Lemoine. — Bolley, Kundt, Pestalozzi, observations sur la dynamite, *Revue polytechnique* de Zurich, XIV. — Amiot, dangers de la dynamite, *Annales*, 7e, III, 427. — Roux, accidents de la dynamite, *Annales*, 7e, XVI, 229. — Philipp Hess, sur la dynamite gelée, *Journal du génie et de l'artillerie* d'Autriche, 1876, 1. — Rapport de la commission des dépôts de dynamite au Congrès minéral du Gard, Alais, 1882. — Fritsch, les dynamites, *Mémorial de l'officier du génie*, 1872, 1874; *Bull. min.*, 2e, IV, 47. — Abel, *Recherches sur les agents explosifs*, actualités scientifiques, Gauthier-Villars, 1871. — Abel, *Lecture sur les agents explosifs*, minutes of proceedings of the institution of civil Engineers, XXXIV, 327. — Abel, *Les agents explosifs appliqués dans l'industrie*, traduit par Richard, Gauthier-Villars 1881. — Nobel, Roux, Sarrau, *Les explosifs modernes*, Paris, 1876, chez Lahure. — Henry, sur les substances explosibles employées dans les mines, *Annales*, 6e, XIX, 21. — Delgobe, emploi des explosifs textiles en Norwège, *Génie civil*, II, no 5. — Combes, emploi du pyroxyle pour le sautage des roches, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re, XLV, 621 et XLVII, 278. — Expériences sur le lithofracteur, *Annales*, 6e, XIX, 429, bulletin. — Héracline, *CRM*, 1876, janvier, 9; mai, 30. — Eugène Turpin, *Notice sur la panclastite*. — Habets, creusement des puits et galeries, *Rev. univ. d. m. et u.*, XXXVI, 29. — Upmann et Von Meyer, *Traité de la poudre*, traduit par Desortiaux. — Böckmann, *Les matières explosives*; histoire, propriétés, essai et emploi pratique, Vienne, in-8e. — Trauzl, *La dynamite, ses propriétés et son emploi*, Berlin.

(2) En dehors des explosifs les plus essentiels que nous envisageons plus loin, je me con-

199 — *Nitroglycérine.* — La nitroglycérine a pour formule $C^6H^5O^{18}Az^3$. Elle a été découverte en 1846 par Sobrero, et employée en 1864 au tirage des mines par M. Nobel. On l'obtient en faisant réagir sur la glycérine un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique.

C'est un liquide jaunâtre, qui a pour densité 1,6. Il est très peu soluble dans l'eau et inaltérable par elle. Ces diverses circonstances permettent de tirer sous l'eau, en versant la nitroglycérine avec un tube au fond des trous de mine. L'eau suffit comme bourrage.

Cet agent paraît toxique. Il envenime les blessures. Il occasionne des maux de tête et des névralgies, pendant sa fabrication et dans le tirage. Cependant une bonne ventilation arrive à supprimer cet inconvénient.

La nitroglycérine se congèle en cristaux, quand la température s'abaisse au-dessous de cinq degrés. En cet état, elle devient extrêmement dangereuse. On n'y doit toucher sous aucun prétexte avant de l'avoir ramenée à l'état liquide, en élevant la température générale, mais sans l'exposer directement à l'action du feu.

L'influence de la chaleur et celle du choc manquent un peu de netteté. Elles exposent à un danger imminent, si l'on n'observe pas les règles de la prudence la plus minutieuse. Vers 180 degrés, l'instabilité chimique se prépare, des vapeurs rouges d'acide hypoazotique commencent à se montrer, le danger d'explosion est proche.

Allumée à l'air, la nitroglycérine brûle tranquillement sans fumée. Le contact d'un corps incandescent ne l'enflamme pas toujours, mais il n'en est pas de même de celui de la poudre embrasée. L'explosion d'un fulminate détermine la détonation de la

tenterai d'énumérer ici, dans l'ordre alphabétique, les noms qu'il a plu aux inventeurs de donner à ces divers produits : Acétine, Alcaloxyde, Atlas, Carboazotite, Dualine, Extradynamite, Extrastrongblasting, Ferroline, Forcite, Fulminatine, Glyoxyline, Haloxyline, Hekla, Héracline, Lithofracteur, Mataziette, Nitromagnite, Panclastite, Pétralite, Pyrolithe, Pyronome, Rendrock, Rhexit, Safetynitro, Saxifragine, Sebastine, Seranine, Selenitic, Tonite, Trinitroglycérine, Vigorite; dynamites grise, noire, paille; poudres blanche, noire, extraforte, chimique, ammoniaque, de massif, des mineurs, d'Abel, Designolle, Dupont, Engels, Fontaine, Judion, Küp, Mowbray, Muschamp, Neumeyer, Punschow, Schultze, Transzl, etc.

masse entière, en exerçant à de grandes distances des ravages effroyables [1].

Une couche mince de nitroglycérine étendue sur une enclume, fait explosion au point choqué par le marteau, sans que l'ébranlement se propage, en général. On annonce que la seule action de la lumière peut faire détoner le liquide, bien que ce fait soit cependant très contesté. Le choc deviendrait lui-même, paraît-il, beaucoup plus périlleux sous l'influence des rayons lumineux.

En présence de propriétés aussi redoutables, la plupart des gouvernements sont intervenus pour interdire le transport de la nitroglycérine, en n'autorisant le tirage des mines à l'aide de cet agent que dans des cas exceptionnels, environnés de précautions spéciales.

200 — *Dynamite.* — Cette merveilleuse puissance serait donc restée sans emploi, si M. Nobel n'avait réussi à discipliner cet agent formidable, et à en faire la base d'un produit, d'un usage beaucoup plus pratique, auquel il a donné le nom de *dynamite.*

La dynamite est un mélange intime, et même capillaire, de nitroglycérine et d'une substance absorbante et poreuse, destinée à isoler ce liquide dans une foule de petits récipients élémentaires, en interrompant sa continuité, et, par suite, la transmission des ébranlements moléculaires qui constituent le mécanisme de sa détonation.

On peut employer, pour remplir cet office, deux sortes de matières. En premier lieu, des substances sans aucune action propre, qui donnent naissance aux *dynamites à base inerte;* ou bien, au contraire, des matières explosives par elles-mêmes, qui viendront joindre à la force d'expansion de la nitroglycérine leur propre puissance, dans les *dynamites à base active.* On a, par exemple, utilisé dans la première catégorie, le kieselguhr d'Oberlohe (Hanovre) formé du résidu siliceux de diatomacées, la randammite d'Auvergne, une terre des environs de Vierzon, etc. Comme bases actives, on a employé le salpêtre, le charbon, etc.

[1] En avril 1866, le Pacific a sauté avec deux barils de nitroglycérine, en tuant 20 personnes et ébranlant tout un quartier de San-Francisco.

Dans le même mois un steamer européen était pulvérisé à Aspinval avec 60 victimes.

En décembre 1875, l'explosion d'une caisse de nitroglycérine à Brême a tué 80 personnes et en a blessé environ 200.

Le type le plus employé (dynamite n° 3) forme une masse pâteuse de couleur rougeâtre. Elle gèle à 8 degrés, et peut dans cet état produire des accidents terribles, si on la touche avec des instruments de fer ou qu'on l'approche d'un feu nu. Il suffit, pour éviter son durcissement, de porter les cartouches dans la poche du pantalon. Quand on les a laissées geler, il faut absolument les dégeler au bain-marie.

La dynamite dans son état ordinaire, exposée à l'air libre sans aucun obstacle, peut, si on l'enflamme, brûler sans danger avec une grande flamme et la production d'un peu de gaz nitreux, en laissant sur place le résidu siliceux qui entrait dans sa constitution. Mais, avec le moindre bourrage, elle produit, quand on vient à l'enflammer, une violente détonation. Le choc sur une enclume provoque, comme pour la nitroglycérine, une détonation, seulement partielle.

Le moyen de déterminer à coup sûr l'explosion, est l'intervention

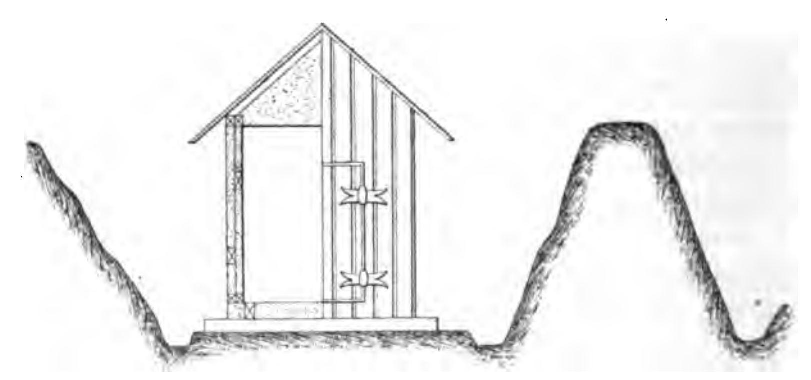


Fig. 150. Dynamitière.

d'une matière fulminante. On en forme des capsules, qui sont livrées au commerce par les mêmes établissements que la dynamite elle-même. Ces amorces renferment 80 parties de fulminate de mercure et 20 parties de chlorate de potasse, destiné à lui donner de la consistance. On en remplit de petits tubes de cuivre de 5 millimètres de diamètre sur 20 de longueur, que l'on bouche avec de la cire ou du collodion. Ces capsules ne doivent pas séjourner

dans les mines humides. Elles sont d'ailleurs isolées de la dynamite, au moyen de boîtes spéciales, dans la dynamitière (fig. 150) (1).

201 — Pour charger un coup de mine, on introduit l'extrémité de l'étoupille de sûreté, ou les fils électriques, dans le petit tube de la capsule, et l'on presse un peu le métal avec une pince pour bourrer le fulminate. On insère le tout dans la cartouche de dynamite, en la liant à la gorge. Il suffit d'ailleurs d'amorcer une seule cartouche, si l'on en superpose plusieurs dans le même trou. La première, par son explosion, fera partir toutes les autres.

Un bourrage léger suffit d'après la nature brisante de cet agent; mais on ne doit, sous aucun prétexte, céder à la tentation d'enlever cette bourre. Jamais un coup de dynamite ne doit être débourré. On le fera partir en pratiquant de nouveaux pétards dans le voisinage, mais en laissant au moins $0^{m},20$ entre eux, et même davantage si l'on peut craindre que la nitroglycérine se soit extravasée à travers les fissures du rocher.

Dans la méthode de M. Hamilton Smith, on va jusqu'à disposer, dans des galeries branchées sur l'artère principale d'un vaste fourneau de sautage, des chargements de dynamite sans bourrage. En fermant solidement la galerie centrale, il suffit de faire partir la première charge pour qu'elle détermine l'explosion de toutes les autres (2).

Ces facilités relatives au bourrage constituent l'un des avantages de la dynamite sur la poudre. Il y faut joindre l'augmentation de puissance, l'amoindrissement du forage, l'inutilité de sécher les trous, la facilité de tirer sous l'eau. Aussi la fabrication de la dynamite a-t-elle pris un développement extraordinaire. Elle a, dans l'année 1878, atteint le chiffre de 6140 tonnes pour le monde entier.

202 — *Pyroxyle.* — *Le coton-poudre*, $C^{12}H^{7}O^{22}Az^{3}$, a été décou-

(1) L'emmagasinement de la dynamite est réglementé par la loi du 8 août 1875 et les décrets des 31 mai et 24 août 1875, 22 octobre 1882 (*Annales*, 7e, VII, 117, *Bulletin*; VIII, 145, *Bulletin*). Une circulaire ministérielle du 9 août 1880 a été accompagnée d'une note sur les précautions relatives à l'emmagasinement et à l'emploi de cet explosif (Dupont, *Cours de législation des mines, annexes*, 726).

(2) Abel, *Les Agents explosifs employés dans l'industrie*, 1881, Gauthier-Villars, 63.

vert en 1838 par Pelouze, et employé en 1846 comme explosif par Schœnbein. Il résulte de l'action d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique sur la cellulose. Il conserve l'aspect de cette dernière substance. On peut, en vue de son application ultérieure, commencer par tresser, tisser, comprimer le coton, avant de le soumettre à l'action nitrifiante.

L'humidité rend inerte le fulmicoton. Il reprend ses propriétés par la dessiccation.

Il présente une certaine instabilité, en particulier sous l'action de la lumière, et surtout quand il a conservé des traces d'acide. Aussi a-t-on conseillé, pour l'en débarrasser, l'emploi d'une lessive alcaline légère.

Il s'enflamme à 180 degrés et brûle à l'air libre avec une flamme instantanée. Mais, dans un espace confiné, il fait explosion avec peu de flamme et sans fumée. Un choc intense ne le fait éclater qu'au point choqué. Au contraire, la déflagration d'une matière fulminante le fait détoner, même à l'air libre.

Le pyroxyle a peu réussi, en général, pour le tirage des mines; quoique certaines séries d'expériences aient fait exception à cet égard. On a varié son emploi sous diverses formes et on l'a fait figurer dans de nombreux mélanges.

203 — Le plus important a reçu le nom de *dynamite-gomme* [1]. Cet explosif est formé de 86 parties de nitroglycérine, 10 de coton nitré et 4 de camphre. La proportion de ce dernier élément est d'ailleurs variable, en vue d'amortir plus ou moins la sensibilité de cette matière au choc et aux vibrations. Cette substance, d'une consistance gommeuse, et qui paraît posséder la plus formidable puissance explosive que l'on connaisse jusqu'ici, a l'avantage de ne pas geler aux mêmes températures que les précédentes, et de ne donner aucune exsudation, même sous une forte pression.

[1] *CRM*, 1880, 20, 85, 101. — Auguste Moreau, sur la dynamite-gomme (*Génie Civil*, I, 4). — *La dynamite, ses caractères et ses effets*, 151. — Abel, *Les Agents explosifs employés dans l'industrie*, 65. — Durelli, *Expériences sur la dynamite gélatineuse*.

§ 8

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

204 — Le matériel du tireur à la poudre comprend un certain nombre d'outils, dont la description a été présentée successivement. Je la compléterai par les données numériques suivantes (¹) :

OUTILS		SUBSTANCES	LONGUEUR	LARGEUR	POIDS	PRIX
			millim.	millim.	kilog.	francs
Massette	à 1 homme (hauteur $0^m,048$). .	Fer aciéré	110	53	2,00	2,20
	à 2 hommes (hauteur $0^m,070$). .	Fer	140	70	5,50	6,05
Jeu de fleurets avec diamant de. . .	$0^m,036$.	Fer	1300	25	4,94	1,70
	$0^m,039$.	Fer	1000	25	3,80	1,25
	$0^m,042$.	Fer	700	25	2,66	0,95
Jeu de fleurets avec diamant de. . .	$0^m,036$.	Acier	1300	25	5,00	4,95
	$0^m,039$.	Acier	1000	25	4,00	3,80
	$0^m,042$.	Acier	700	25	2,80	2,70
Curette		Fer	940	10	0,54	0,30
Épinglette		Cuivre	800	8	0,31	0,95
Bourroir (diamètre décroissant de $0^m,032$ à $0^m,016$). .		Fer et cuiv.	1000	»	1,65	1,45

Quant aux résultats obtenus dans les diverses roches et aux consommations qui leur correspondent, rien n'est plus difficile à définir *à priori*, et, dans une même formation, l'on éprouvera souvent des variations sensibles. On peut cependant formuler quelques points de comparaison, suffisants pour poser les bases d'un avant-projet. Ils sont compris dans le tableau suivant (²).

(¹) Ce tableau, qui complète celui du n° 148, a été dressé à l'aide des mêmes documents. Au prix des massettes, il convient d'ajouter 0 fr. 20 pour celui des manches.

(²) Ce tableau, ainsi que celui de la page 213, ont été dressés d'après ceux qui se trouvent insérés dans le *Cours d'exploitation des mines* de Callon (I, 199 et 201).

ROCHES	NOMBRE DE JOURNÉES par mètre courant		POIDS DE POUDRE en kilogrammes		PRIX DE REVIENT EN FRANCS du				AVANCEMENT PAR MOIS en mètres	
					MÈTRE COURANT		MÈTRE CUBE			
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Roches récalcitrantes exceptionnelles	50	50	12,0	12,0	236,00	236,00	67,00	67,00	2,00	2,00
Granite dur et quartzeux. . . .	20	30	8,0	10,0	120,00	145,00	34,00	41,00	3,35	5.00
Filons très durs et très quartzeux.	24	24	3,5	3,5	104,75	104,75	30,00	30,00	4,00	4,00
Terrain houiller très dur, grès, poudingues	15	20	4,0	8,0	70,00	100,00	20.00	28.50	5,00	6,65
Terrain houiller assez dur, granite ordinaire	10	15	3,0	4,0	47,50	70,00	13,50	20,00	6,65	10,00
Terrain houiller ordinaire et schiste tendre	7	10	1,5	3,0	31,75	47,50	9,00	13,50	10,00	14,00
Terrain houiller facile.	4	6	1,0	1,5	18,50	27,75	5,20	8,00	15,00	25,00
Chantier de 6 mètres carrés de section dans la houille . . .	2	4	0,0	0,3	8,00	16,75	1,35	2,80	25,00	50,00

Ces chiffres supposent des journées de 4 francs, le prix de la poudre à 2 fr. 50 le kilogramme, et une galerie de $3^{mq},50$ de section [1]. L'activité de l'abatage se ressent des conditions de l'emplacement, et ne serait pas la même dans des chantiers de nature différente. A cet égard, on peut, en prenant pour base les résultats précédents, passer à des conditions différentes, en employant les coefficients de conversion suivants :

OUVRAGES		MINIMUM	MAXIMUM
Ouvrage à grande section (*)		0,40	0,50
Montage		1,50	1,50
Fonçage plus ou moins gêné par les eaux		1,50	2,00
Filons exploités par gradins.	Puissance faible	0,65	0,75
	— moyenne	0,50	0,50
	— grande	0,35	0,50
Grand ouvrage à gradins à ciel ouvert		0,25	0,25

(*) Présentant 12^{mq} à l'avancement, plus 24^{mq} au rebanché.

[1] Dorlhac a donné un tableau spécial de résultats, que l'on pourra consulter avec intérêt (*Bull. min.* 1re, VII).

CHAPITRE IX

PERFORATION MÉCANIQUE

—

§ 1

ABATAGE PAR L'AIR COMPRIMÉ

205 — Nous avons distingué pour l'attaque de la roche cinq agents principaux : la force de l'homme, l'eau, le feu, les explosifs, qui nous ont déjà occupés, et enfin les moteurs mécaniques, dont il nous reste maintenant à parler dans le précédent chapitre.

Le principal de ces moteurs est l'air comprimé. Son intervention peut être réduite à la simple perforation des trous de mine, ou bien au contraire concourir au sautage lui-même. Dans le premier cas, qui est de beaucoup le plus ordinaire, ce moteur ne fait que se substituer à l'action musculaire de l'homme, pour la seule part qui restait à cette dernière dans l'opération du tirage à la poudre. Avec le second mode, il prend la place de l'explosif lui-même, pour l'utilisation du trou ainsi perforé. Deux systèmes peuvent être employés à cet égard.

Le premier constitue le *bosseyage mécanique*. Il s'effectue avec les mêmes appareils que le forage du trou, c'est-à-dire les perforateurs dont nous parlerons dans le § 2. A cet effet, on substitue au fleuret dans la machine une masse, et l'on place dans le trou de mine une aiguille infernale, sur laquelle cette dernière, mue par l'air comprimé, vient frapper jusqu'à éclatement de la roche. Ce procédé a déjà fait ses preuves, principalement en Belgique, où il prend

beaucoup de développement; à la Marihaye, il a complètement remplacé la poudre ([1]).

Au lieu de ce mode dynamique, on peut, en second lieu, agir par simple pression statique, à l'aide du procédé Garforth. On admet alors dans le trou de mine de l'air en tension. Mais, au lieu de 3 ou 4 atmosphères, 8 ou 9 tout au plus, qui constituent la pression ordinaire dans les perforatrices, on a dépassé le chiffre de 900 atmosphères dans la houillère de Bower ([2]).

On a également, dans le même ordre d'idées, fait intervenir un dégagement de gaz, dans le volume confiné du trou de mine, au moyen d'une réaction chimique; soit celle du zinc et de l'acide sulfurique, pour donner de l'hydrogène; soit l'action de l'acide chlorhydrique sur le calcaire, pour dégager de l'acide carbonique.

206 — Ces moyens se recommandent particulièrement dans les exploitations assez grisouteuses pour que l'emploi des explosifs en doive être systématiquement exclu.

Mais, en outre, le point de vue économique lui-même peut suggérer à cet égard quelques réflexions encourageantes. Nous avons vu, en effet (n° 197), que 1 kilogramme de poudre de mines peut développer environ 270 000 kilogrammètres dans la désagrégation des roches ([3]). Ce chiffre est précisément égal au travail qui correspond par heure à une force de cheval. On sait, d'ailleurs, que, dans les meilleures machines à vapeur, on peut le réaliser en brûlant un kilogramme de bonne houille. La puissance industrielle de la poudre et du charbon serait donc la même à poids égal dans ces conditions pratiques. Par conséquent, lors même que l'on porterait à 25 francs le prix de la tonne d'un tel combustible, c'est-à-dire 0 fr. 025 le kilogramme, celui de la poudre étant 2 fr. 50, on voit que l'effet utile coûterait avec cette dernière le centuple de ce que peut fournir la houille. Il resterait, à la vérité, à tenir compte, en outre, du rendement propre aux appareils mis en jeu; mais on comprend néan-

([1]) *CRM*, 1881, 102 et 1882, 88. — *Bull. min.*, 2e, VIII, 877, Buisson. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, I, 127.

([2]) *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 331.

([3]) Biver, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 831.

moins quelle large marge il resterait encore pour leur constituer un avantage sur l'emploi des explosifs.

§ 2

PERFORATEURS MÉCANIQUES

207 — *Perforatrices rotatives.* — Dès l'année 1835, Combes conseillait l'application des moyens mécaniques au forage des trous de mine. L'avenir lui a donné raison, et les types de perforatrices se sont aujourd'hui multipliés, pour ainsi dire, sans limites [1]. La dépense de main-d'œuvre constitue souvent, en effet, la plus grande partie des frais [2], et la force de l'homme est très mal utilisée dans le forage à la main [3].

En ce qui concerne le moteur destiné à actionner l'appareil, on emploie presque universellement l'air comprimé, fourni par des compresseurs. A cet égard le perforateur Jordan mérite une mention particulière [4], car on y agit d'abord à bras pour la mise en tension de l'air, sans compresseur mécanique spécial, et celui-ci met ensuite la perforatrice en mouvement.

On a employé également, quoique sur une échelle incomparable-

(1) *Annales*, 6e, XVII, 519, Hasslacher; 7e, I, 17 et 283, Pernolet; XV, 427 et 434; 8e, I, 89 et 97, Revaux. — *CRM*, 1875, juillet, 9, Baure; décembre, 9, Baure; 1876, juin, 5, Baure; novembre, 1, Crozet; 1877, novembre, 9, Chansselle; 1878, 263, Buisson; 1880, 103 et 177, Martin; 1882, 62, Gaillard. — *Bull. min.*, 2e, I, 199, Chansselle; 238, Cacarrié; 381, Pernolet; II, 1, Pernolet; 385, Mathet; III, 596, Pernolet; VIII, 54, Aguillon; 873, Buisson. — *Bull. Soc. d'enc.* 1875, 605. — *Revue industrielle*, 29 avril et 9 décembre 1874, 26 mai 1875. — *Les Mondes*, XXXII, 537. — *Rev. univ. d. m. et u.* 1re, XIX, 397; XXXIII, 63; XXXVI, 29, 89, 106; XXXIX, 489; 2e série, I, 63, 192; III, 652, 682, 714; IV, 465. — *The Engineer*, 1875, 9. — *Engineering*, 1875, 274. — Mathet, *Étude sur le grisou*, in-4° lithographié, 100. — Guénez, *Bulletin de la Société des anciens élèves des écoles d'arts et métiers*, septembre 1878. — Hanarte, *La perforation mécanique par le perforateur Ferroux*, Mons, 1879; — Ponson, *Supplément au Traité de l'exploitation des mines de houille*, I, 2, 18, 55; — *Rapports trimestriels au gouvernement fédéral sur le percement du Saint-Gothard.* — Rziha, *Tunnelbau*, I, 131. — Stappf, *Ueber gesteinbohrmaschinen*, Stockholm, 1859; Fahlun, 1869. — Drinker, *Composés explosifs et perforatrices employés pour le percement des galeries*, in-4°, New-York.

(2) 1320000 francs pour la mine de Przibram (Bohême) en 1880.

(3) 4 à 5 0/0 seulement, d'après M. Stappf, avec 95 0/0 de perte.

(4) *Bull. min.* 2e, VIII, 920.

ment moindre, la force hydraulique, soit avec les petites machines à piston de MM. Perret et Laroche-Tolay, soit avec les rotatives Taverdon. On a réalisé sous ce rapport, au percement du tunnel de l'Arlberg, des pressions de 80 à 100 atmosphères (1).

208 — En ce qui concerne l'outil lui-même, il peut être rotatif ou à percussion.

Le premier de ces deux types est de beaucoup le moins répandu. Certaines rotatives sont à outil d'acier, comme les appareils Brandt, Dron, Jarolimek, Mac-Dermott, Perret, Stanek et Reska, Trantz. La création la plus caractéristique, sous ce rapport, a été l'appareil à diamants noirs de Leschott, qui a donné par extension naissance au procédé analogue de sondage (chap. V, § 8). Cette application a reçu une nouvelle impulsion par les perfectionnements de M. Taverdon (2).

209 — *Perforatrices percutantes.* — Les appareils percuteurs peuvent eux-mêmes opérer de deux manières différentes, suivant que l'on y copie le travail de la barre à mines (nº 166), ou le double choc du forage avec le burin et la massette (nº 167).

Ce dernier principe se trouve représenté par les perforateurs Barthelson, Gainschnigg, Schwarzkopf, Warsop, dans lesquels une masse, manœuvrée par la machine, vient frapper un fleuret distinct placé dans le trou. Nous avons expliqué déjà (nº 167) que ce double choc est nuisible. S'il a néanmoins généralement prévalu dans le travail à la main, en raison des facilités qu'il y apporte, les mêmes motifs n'existent plus, quand on dispose de toutes les ressources de la mécanique.

210. La vraie solution est donc calquée sur l'emploi de la barre à mines, que l'on guide comme dans l'appareil Delahaye (nº 166), en la lançant toutefois, non plus par la force de l'homme, mais à

(1) *Annales*, 8ᵉ, I, 597.

(2) Indépendamment de son procédé d'enrobage du diamant (nº 115), M. Taverdon a introduit, pour la commande de ses perforateurs, un moteur rotatif mû indifféremment par l'eau, l'air, ou même la vapeur, quand on opère à ciel ouvert.

l'aide de l'air comprimé. C'est en effet sur cette donnée, inaugurée par Bartlett et rendue pratique par Sommelier, qu'ont travaillé une foule d'inventeurs [1]. Un certain nombre des appareils qui ont ainsi pris naissance, ne diffèrent les uns des autres que par des nuances sans importance. Il existe pourtant quelques types vraiment distincts par leur ensemble. Mais tous, cependant, présentent encore certains traits de rapprochement, tenant à la nature du but commun auquel ils sont appropriés, et qui vont nous permettre d'esquisser dans une description générale cette matière très complexe.

Le fleuret doit être animé de trois mouvements bien distincts : 1° celui de frappe, ou de va-et-vient; 2° sa rotation sur lui-même; 3° la progression, destinée à suivre l'approfondissement.

211 — *Mouvement alternatif.* — Le mouvement de va-et-vient est produit par la distribution de l'air comprimé, que l'on envoie dans le cylindre, alternativement sur les faces postérieure et antérieure du *piston-porte-fleuret*. L'action doit être du reste très inégale dans les deux sens. Pour la marche en avant, il faut brutaliser la roche. Au contraire, dans le retour, il convient de ménager le fond du cylindre, s'il est susceptible d'être rencontré par le piston. Cette inégalité s'obtient très simplement (fig. 151, 153, 157) en donnant un grand diamètre à la tige. De cette manière, pour une même section du piston, recevant la pression motrice pour lancer le fleuret, celle-ci ne s'exerce plus, dans le retour, que sur une couronne de faible épaisseur.

Quant à la distribution, elle s'obtient en obturant ou démasquant, aux instants convenables, certains orifices pratiqués dans la paroi

[1] Allison, Angstroem, Azolino, Barlow, Barnes, Bartlett, Bergstroem, Braconnier, Brain, Broszmann, Burleigh, Cassat et Lepourcq, Castelain, Chodzko, Cornet et Deschamps, Crease, Crozet, Darlington, Daumont, Doering, Donkin, Dron (type percutant), Dubois et François, Dunn, Durenne, *éclipse*, Eschenbacher, *excelsior*, Ferraris, Ferroux, Fontenay, Ford, Fowle, Fröhlich, Gottheil, Green, Guénez, Hagans, Harrison, Haupt, Hawthorn, Hipp, Humboldt, Ingersoll, Kainotomon, Kennedy dit Rohnhead, Low, Mac-Kean, Mahler, Mercier, Meyer, *national drill*, Normandy, Osterkamp, *power jumper*, Prince, Rand, Reynold, Riand, Richter, Rosenkrantz, Sachs, Schmidt, Schramm, Schumann, Séguin, Sievers, Simpson, Sommelier, Sotzmann, Tacquenier et Crainton, Tigler, Turettini, Twigg, Ullathorne, Waring, Warington, Wincqz, Wood.

du cylindre, et communiquant avec l'air comprimé ou l'atmosphère extérieure. Tant que la face postérieure du piston est en rapport avec le réservoir d'air comprimé, elle subit la *pleine pression;* si l'orifice d'admission se ferme sans qu'aucun autre s'ouvre, on fonctionne par la *détente* du gaz; si un conduit vient à mettre en communication l'avant et l'arrière du piston, on traverse une période d'*équilibre;* si enfin un orifice s'ouvre vers l'extérieur, l'*échappement* s'opère. Les deux premières phases sont motrices, la troisième prépare le retour, la dernière permet de l'effectuer. La première et la quatrième se retrou-

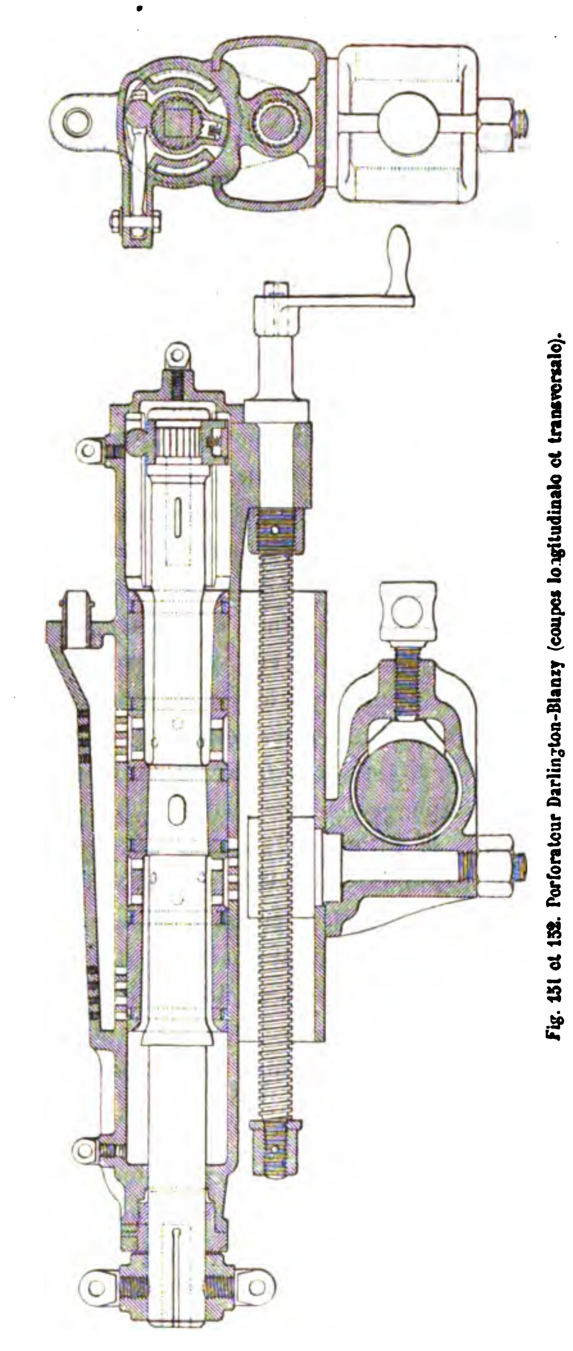


Fig. 151 et 152. Perforateur Darlington-Blanzy (coupes longitudinale et transversale).

vent nécessairement dans tout perforateur; les deux phases intermédiaires, plus exceptionnellement.

212 — Pour réaliser ces ouvertures et fermetures, deux systèmes peuvent être mis en œuvre. Dans le premier type, représenté par le Darlington-Blanzy (fig. 151, 152), c'est le piston lui-même qui opère la distribution, en bouchant ou démasquant à propos, pendant sa course, les orifices pratiqués dans la paroi interne du cylindre.

Dans un second type, la distribution s'effectue au moyen d'un organe distinct appelé *tiroir*, glissant sur une *glace*, d'où partent des *lumières* qui conduisent aux deux extrémités du cylindre. Mais, là encore, deux modes différents peuvent être employés pour la commande de ce tiroir.

Dans le premier, comme dans le perforateur Burleigh, le tiroir est relié d'une manière géométrique et nécessaire, à l'aide de certains organes solides de transmission, au mouvement du piston, comme dans les machines à vapeur. Mais cette solution est la moins recommandable; car si, comme cela arrive à chaque instant, le fleuret se coince dans le trou de mine sans pouvoir aller jusqu'au fond, le piston, qui en est solidaire, ne peut pas non plus achever sa course, et amener le tiroir au point où il renversera le mouvement, afin de ramener le fleuret.

Pour ce motif, on préfère, dans un second type auquel appartient le Dubois-François (fig. 153, 154, 155, 156), un système très ingénieux, dans lequel le piston et le tiroir n'ont aucune connexion nécessaire et se meuvent chacun pour son propre compte. De cette manière, ce dernier peut toujours effectuer normalement ses fonctions et ramener le piston, lors même que celui-ci n'aurait pu parvenir jusqu'au fond de sa course. Décrivons en détail ce dispositif.

213 — Le tiroir T porte deux pistons inégaux P et P'. La section du premier étant la plus grande, l'air comprimé qui se trouve en permanence dans la chambre C, porte le système vers la droite, en démasquant la lumière de gauche qui admet le fluide sur la face gauche du porte-outil. Ce mouvement met en même temps la

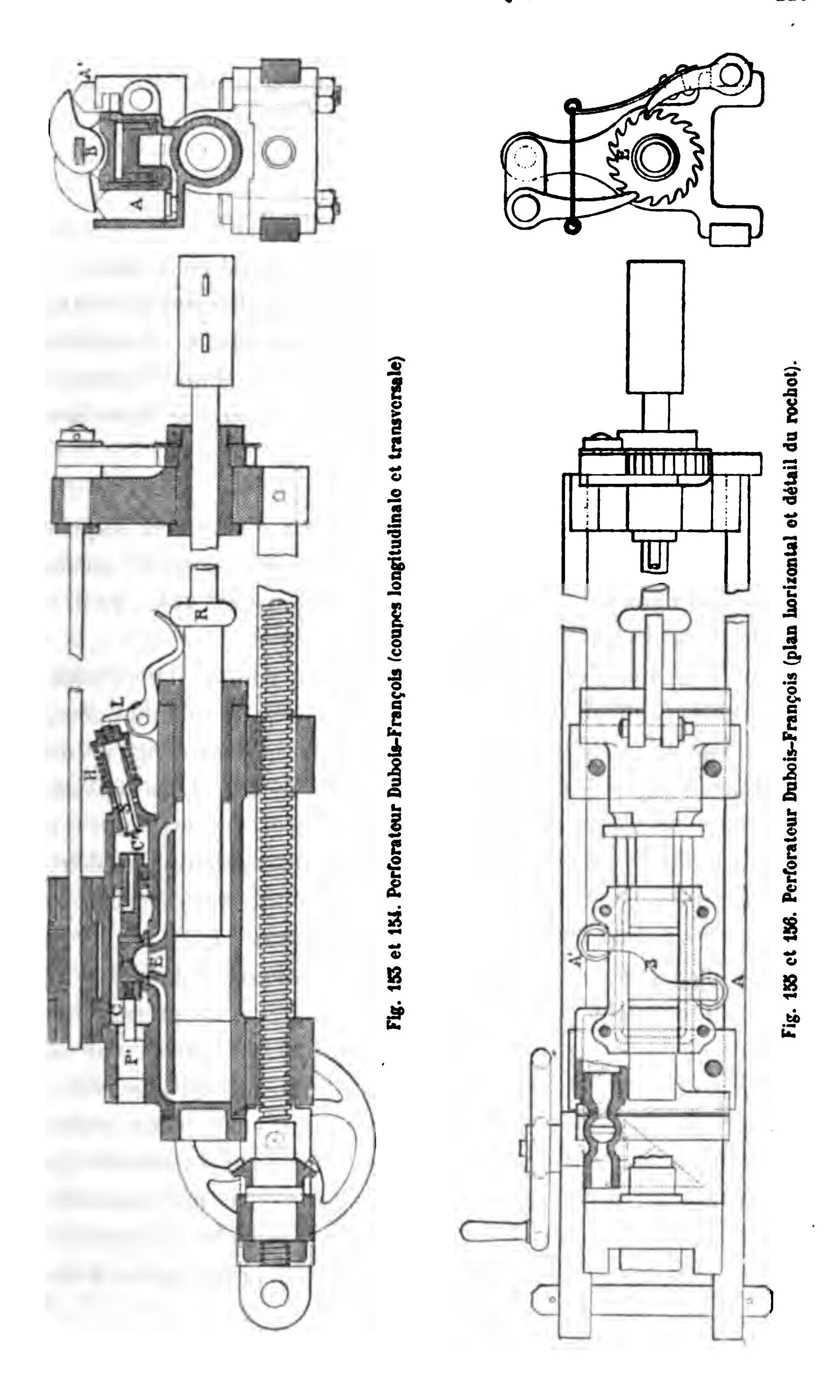


Fig. 153 et 154. Perforateur Dubois-François (coupes longitudinale et transversale)

Fig. 155 et 156. Perforateur Dubois-François (plan horizontal et détail du rochet).

lumière de droite en communication avec l'échappement E. Pendant que le fleuret se porte en avant, l'air de la chambre C filtre à travers le petit conduit pratiqué dans le plus grand des deux pistons, et vient former une contre-pression en C'. Dès lors, le piston P se trouvant en équilibre, P' subit seul l'action de l'air comprimé et ramène le tiroir à gauche. Les fonctions des lumières se trouvent interverties, et le porte-fleuret ramené en arrière.

Vers la fin de ce mouvement rétrograde, le renflement R de la tige fait basculer le levier L, qui appuie sur la soupape S, en refoulant le petit ressort en hélice H, destiné à la tenir appliquée contre son siège. La bouffée d'air renfermée dans C' s'échappe alors brusquement, et tout se retrouve dans l'état initial.

214 — *Mouvement rotatif.* — Le second mouvement imprimé au fleuret doit être une rotation sur lui-même, pour les mêmes motifs que dans le sondage (n° 82) et le forage (n° 168), qu'il est inutile de reproduire.

Pour le réaliser, on peut, en premier lieu, comme dans l'ancien type Dubois François (fig. 153 à 156), employer une double pompe à air, dont les cylindres A, A' se trouvent respectivement en communication avec les deux faces du piston moteur. Elles agissent, par suite, alternativement pour soulever par ses extrémités un basculeur B. Un encliquetage communique d'ailleurs au fleuret ceux des mouvements qui s'effectuent dans un sens, en laissant rétrograder à vide les rotations en sens contraire.

Mais on préfère maintenant (type Guénez-Nœux) l'emploi d'une rainure hélicoïdale, pratiquée sur la tige du piston et engrenant avec une pièce en forme d'écrou, susceptible de tourner sur son axe. Le frottement est suffisamment dur pour que, lorsque rien ne s'y oppose, c'est-à-dire pendant la course en avant, les deux organes restent solidaires. L'écrou tourne alors sur lui-même, attendu que le mouvement relatif des deux pièces doit être nécessairement hélicoïdal [1]. Mais, dans le retour, un pied de biche s'oppose à la rotation inverse de l'écrou. C'est, par suite, le piston qui se trouve

[1] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 66.

obligé de prendre entièrement pour son compte ce mouvement relatif hélicoïdal. Il tourne donc d'un certain angle, en même temps qu'il recule.

215 — ***Mouvement progressif.*** — Il reste enfin à assurer le mouvement de progression destiné à faire avancer le cylindre sur son affût, pour que les points morts de la course se déplacent comme le fond même du trou.

La plupart du temps, on laisse ce mouvement à la disposition du mécanicien, dont l'attention doit être en éveil pour empêcher, qu'en raison de l'avancement, les courses croissantes du piston porte-fleuret n'arrivent à défoncer le cylindre.

Cependant, avec le perforateur Ferroux (fig. 157), on réalise automatiquement cet avancement de la manière suivante. Le tube A fournit l'air comprimé au cylindre fixe B, dans lequel joue un piston C à tige creuse D, solidaire avec le cylindre percutant E. Par l'intérieur de la tige D, le fluide parvient dans la boîte de distribution de E, qui fonctionne dans les conditions ordinaires. La pression qui s'exerce incessamment sur la face gauche du piston C, a donc pour effet de solliciter le cylindre percutant à se porter vers la droite. Ce qui l'empêche de céder à cette tendance est le doigt F, qui est engagé entre les dents du longeron G, dentelé en forme de crémaillère et solidaire de B. Ce doigt est maintenu en position par le piston H, que soulève incessam-

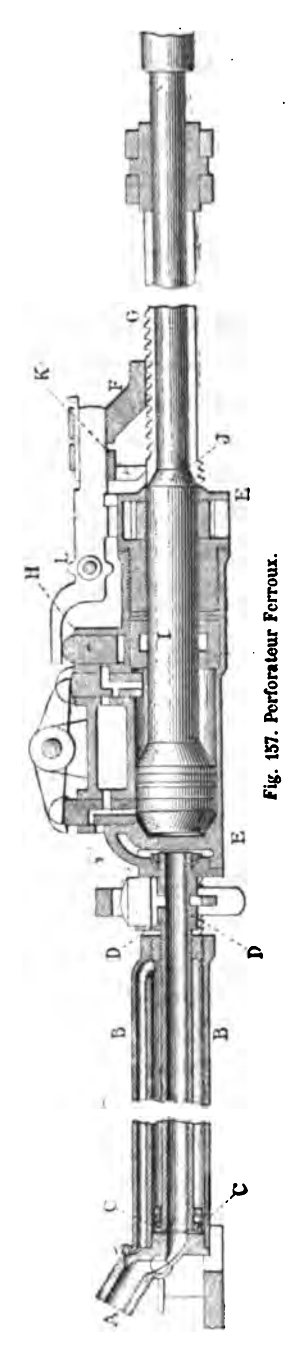


Fig. 157. Perforateur Ferroux.

ment la pression de l'air admis au-dessous de lui, sans toutefois empêcher géométriquement sa descente, quand elle devient obligatoire. C'est ce qui arrivera, en effet, lorsque, le trou s'approfondissant à un certain degré, la course du piston porte-fleuret I s'allongera assez pour que la partie tronc-conique J vienne rencontrer le heurtoir K. Celui-ci fera alors basculer le levier que porte le doigt ; ce levier tournera sur son articulation L, en refoulant le piston H. Le doigt F échappant dès lors de la crémaillère, le cylindre percutant E qu'il maintenait en position, se portera à droite, sous la pression subie par le piston C. Mais le recul instantané du porte-fleuret, qui n'a agi sur K qu'en atteignant son point mort, abandonne ce heurtoir K, et la queue, que soulève H, renclanche de suite le doigt F dans la dent suivante de la crémaillère G. Le fonctionnement normal de la percussion continue dès lors dans cette nouvelle situation, jusqu'à ce qu'une nouvelle progression de l'avancement fasse échapper une nouvelle dent.

216 — *Affût.* — Le perforateur est installé sur un affût, roulant sur la voie ferrée de la galerie (fig. 158). Un même affût porte du reste plusieurs perforatrices, que des genoux permettent d'incliner dans toutes les directions. Un assortiment de fleurets assure leur renouvellement d'une manière continue, pendant qu'on les reporte à la forge, au fur et à mesure de leur mise hors de service. Lorsque tous les trous sont forés, l'affût recule à une distance suffisante, et on le ramène après le sautage et le dépilage. On lui adjoint une tonne pleine d'eau, roulant sur les mêmes rails, dans laquelle on admettra la pression de l'air, pour alimenter des lances d'eau destinées à nettoyer l'intérieur des trous; et même parfois des pulvérisateurs, qui fournissent une pluie fine pour abattre les poussières irrespirables, quand cela devient nécessaire.

L'affût prend une autre disposition dans la perforation verticale, adaptée au fonçage des puits [1]. Il se rapproche alors de la forme d'un trépied (fig. 159), ou se réduit à de simples barres arc-boutées

[1] *CRM*, mars 1876, 1; — *Bull. min.*. 2ᵉ, VI, 677, J. Lévy; — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1868, 298; XXXI, 452, Chansselle; XXXVI, 116, 170; XXXVIII, 444, Leduc; — *Œsterreichische Zeitung für den Berg und Hüttenwesen*, XXV, 277, Janota.

dans les parois. Cette fixation se fait ordinairement avec des vis de serrage; cependant M. Sultzer l'a réalisée à l'aide de la pression hydraulique. On enlève l'affût avec la machine d'extraction, lorsque le moment est venu de procéder au tirage.

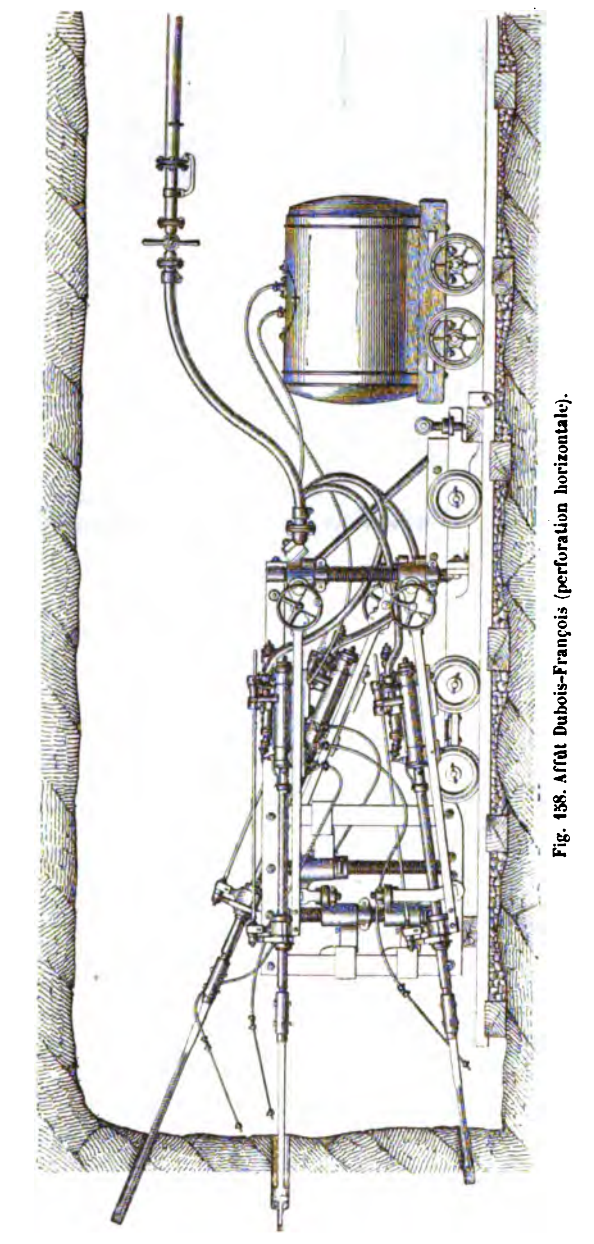


Fig. 138. Affût Dubois-François (perforation horizontale).

217 — Le prix d'un perforateur Dubois - François est de 1500 fr., et celui de l'affût 4000 fr., non compris les fleurets, dont le nombre varie avec la dureté de la roche. L'appareil pèse 220 kilogrammes, outre une masse percutante de 30 kilogrammes. Il a $2^m,20$ de longueur, le diamètre du piston est $0^m,07$ et sa course maximum $0^m,30$. La pression est de 4 à 5 atmosphères en général, le rendement utile 0,70. La vitesse, au moment du choc,

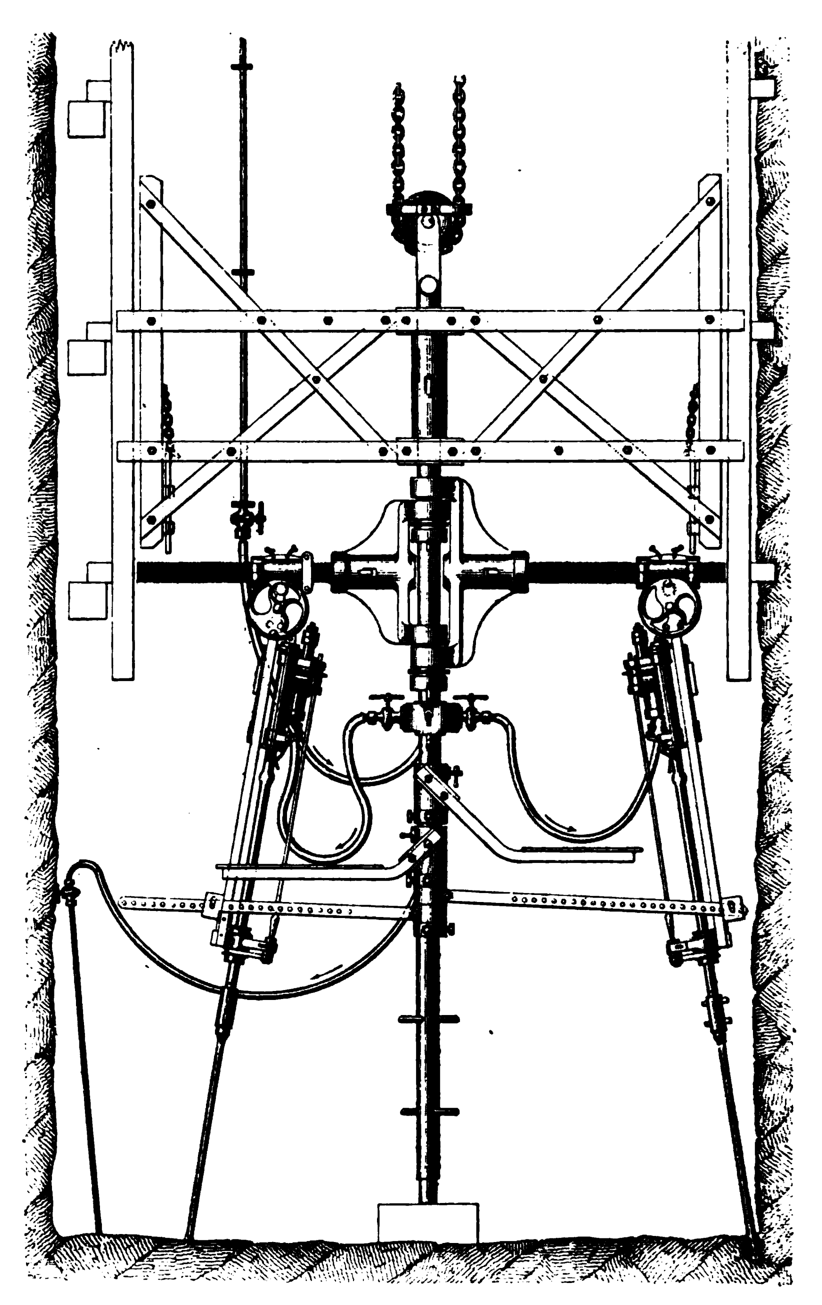


Fig. 159. Affût Dubois-François (perforation verticale).

atteint 5 à 6 mètres. Le fleuret fait 20 tours, et donne 150 coups par minute.

Le Ferroux frappe environ 400 coups, le Darlington-Blanzy 600, le Mac-Kean jusqu'à 1000. Les auteurs de ces vitesses vertigineuses admettent que de petits chocs, indéfiniment rapprochés, entretiennent le système moléculaire dans un état vibratoire, plus favorable à sa désagrégation que des coups plus forts, mais plus espacés.

§ 3

HAVEUSES, TRACEUSES, EXCAVATEURS

218 — *Haveuses.* — On a également cherché à remplacer par l'action de l'air comprimé le travail de l'homme dans le havage. C'est l'objet des ***haveuses mécaniques***. Mais cette application est loin de se présenter dans des conditions aussi favorables que celles du forage des trous de mine. Déjà l'emploi des perforatrices réclame pour le maniement de ces engins, plus ou moins volumineux, une allure du gisement assez régulière, que l'on rencontre en général dans les houillères, quoique moins fréquemment dans les filons. Mais cette condition prend plus d'importance encore pour le havage. Pour que l'emploi de haveuses, encombrantes et massives, présente un avantage économique, il faut que la couche soit très bien réglée sur de grandes étendues. Cette circonstance se présente souvent dans les mines anglaises, mais rarement en France. Aussi les tentatives de havage mécanique faites à Anzin, à Blanzy, ne se sont-elles pas propagées (1). En Angleterre même, elles sont fort loin d'avoir pris le même développement que la perforation mécanique, bien que de très nombreux inventeurs (2) se soient donné carrière dans cette matière.

(1) *Bull. min.*, 2e, VI, 505, Petitjean.

(2) Baird ou Gartsherrie, von Balzberg, Benson, Birkenshaw, Braconnier, Carrett et Marshall, Chabb, Clapp, Couvreux, Donisthorpe, Dumas et Delahaye, *l'économique*, Farrar et Booth, Firth, Gillot et Copley, Grafton et Ridley, Harrisson, Hurd, Jenkins, Johnson et Dixon, Jones et Lewick, Kirkley, Lechner, Locke et Warington, Meeckle John et Riggs, Payton et Holme, Rothery, Simson, Sturgeon, Talbot et Wilson, Turley, Walker, Winstanley.

Il y a du reste pour cela un second motif, absolument distinct du précédent ; c'est que la haveuse ne sert qu'au *dépilage* des chantiers, opération qui se fait en grand, et pour laquelle le piqueur, placé dans des conditions plus favorables, réalise un rendement plus élevé que dans le *traçage* des galeries, auquel sont destinées les perforatrices. De là une moindre urgence à substituer au travail de l'homme un engin mécanique.

219 — L'outil essentiellement affecté à l'attaque du charbon est parfois une sorte de *pic* oscillant, comme dans le système Jones et Lewick. Mais une action continue est infiniment préférable. Celle-ci peut s'obtenir à l'aide de *gouges* rectilignes, comme dans la haveuse Carrett et Marshall, ou avec la *scie* d'acier circulaire de l'appareil Winstanley, que M. Taverdon remplace par un disque mince, sur la circonférence duquel il a enrobé des diamants.

Quant à l'ensemble de l'appareil, je prendrai comme exemple, pour en donner une idée, la haveuse Winstanley (fig. 160). Elle se

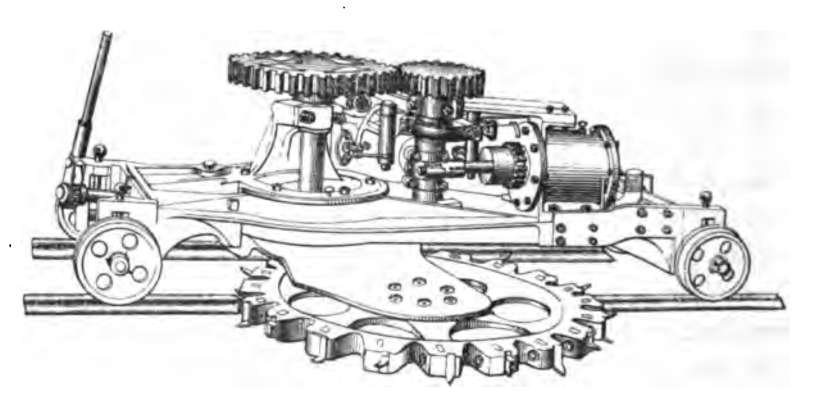


Fig. 160. Haveuse Winstanley.

compose d'un chariot monté sur rails, et se halant lui-même sur un point fixe, au moyen d'une chaîne amarrée qui s'enroule sur un axe vertical du véhicule, à mouvement ralenti par des engrenages. Deux petits cylindres oscillants, couplés à angle droit, attaquent un arbre moteur, qui commande au moyen de roues dentées la scie horizontale placée sous le bâti. Cet organe fait de 25 à 40 tours par

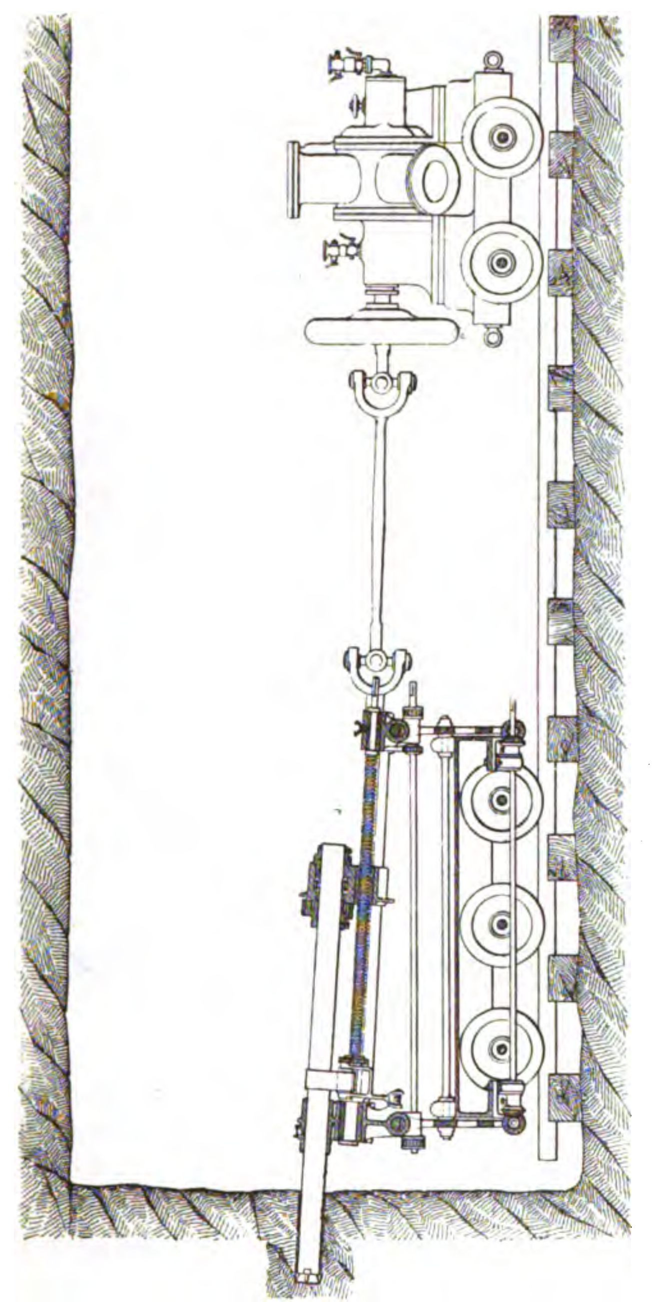


Fig. 161. Traceuse de Blanzy (coupe longitudinale).

minute, avec une vitesse à la circonférence qui varie de 1m,50 à 2m,35. La puissance du moteur nécessaire pour actionner cette haveuse doit être de 10 à 15 chevaux.

220 — Ces appareils, convenablement modifiés dans leur installation, ont aussi été employés à pratiquer les rouillures verticales, comme dans le système Beernaert et l'appareil Wallaury et Bucquet.

221 — *Traceuses.* — On a cherché, dans l'appareil Gay et la

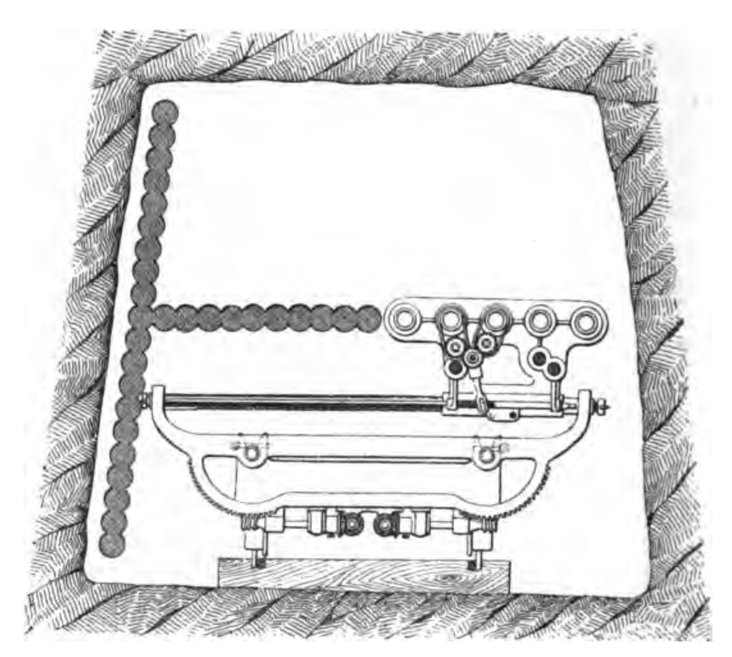


Fig. 162. Traceuse de Blanzy (coupe transversale).

traceuse tubulaire de Blanzy [1], à effectuer le havage d'une manière indirecte, en perçant des trous contigus qui empiètent légèrement les uns sur les autres, de manière à détruire la roche dans toute l'étendue d'un plan.

Dans ce dernier appareil (fig. 161 et 162), cinq burins en acier de

[1] Mathet, *Étude sur le grisou*, in-4° lithographié, 101.

1m,30 de longueur et 0m,05 de diamètre, munis de dents à leur extrémité, percent à la fois cinq trous, dont la profondeur peut atteindre 0m,80. Ils exécutent de 100 à 150 tours par minute. On transporte ensuite cette batterie parallèlement à elle-même, d'un espace égal à la moitié de la distance des tubes d'axe en axe, de manière à attaquer de même les entre-deux. Les outils sont actionnés par un moteur à air à trois cylindres, auquel on les relie au moyen d'un double joint de Cardan, afin que l'ensemble puisse se plier aux courbes de la voie. Cette batterie est portée sur un double bâti, permettant de lui donner toutes les inclinaisons, au moyen d'un secteur qui engrène avec une vis sans fin, mue à la main. Pour éviter l'échauffement de l'acier, on forme chaque outil de deux tubes concentriques, brasés à leurs extrémités, et ne comprenant qu'un intervalle de 1 à 2 millimètres, à travers lequel on injecte de l'eau, évacuée à l'avant par de petits trous de 2 millimètres de diamètre. Ce courant nettoie le trou, en même temps qu'il rafraichit les dents. On estime à Blanzy que les deux ouvriers qui manœuvrent l'appareil, mettraient six fois plus de temps à obtenir à la main le même résultat.

222 — *Excavateurs à section entière.* — M. Preigne a mis en avant l'idée (1) de préparer au moyen d'un excavateur le forage d'une galerie de mines, en opérant d'un seul coup sur toute sa section, que l'on doit pour cela supposer circulaire. Son appareil était destiné à pratiquer une rainure circulaire de dix centimètres d'épaisseur, et en même temps un fort trou de mine dans le centre. L'excavateur une fois retiré à distance suffisante, l'explosion de ce fourneau central devait détruire le stross annulaire.

Ce projet ne paraît pas avoir été réalisé. Mais un système analogue, de MM. Talbot et Wilson, a fonctionné en Amérique (2), composé de vingt fraises valseuses, attaquant la roche dans l'épaisseur de la rainure qu'il s'agit d'excaver.

Des appareils de cette nature présentent évidemment le défaut de

(1) *Supplément au Traité de l'exploitation des mines de houille*, Ponson, I, 140.

(2) *Voyage de F. Lambert dans l'Amérique du Nord; — Supplément* de Ponson, I, 135.

ne pouvoir passer que dans le vide qu'ils ont eux-mêmes pratiqué, et, par conséquent, d'exclure absolument tout revêtement, même provisoire, sous peine de ne pouvoir reculer pendant le tirage, et de nécessiter alors un démontage et un remontage. Lors même que le terrain permettrait de se dispenser de revêtement, la machine pourrait se trouver coincée par le moindre tassement des parois.

Des défauts aussi graves doivent faire absolument condamner ce principe. Mais on y peut trouver avec intérêt le germe de l'invention des excavateurs à section pleine, par attaque directe et sans poudre, pour lesquels ces inconvénients disparaissent. En effet, l'outil ne fait plus alors qu'avancer, sans avoir jamais besoin de reculer d'une quantité importante. Le soutènement peut donc suivre au fur et à mesure. C'est ainsi que l'on opère dans la galerie préparatoire du tunnel sous-marin de la Manche. On retire alors de la rigoureuse constance du profil l'avantage de pouvoir immédiatement, dans les parties faibles ou aquifères, cercler la galerie au moyen de panneaux courbes métalliques, préparés d'avance pour son calibre.

223 — Déjà la perforatrice Penrice avait été proposée pour agir sur toute la section à la fois (1). Cet appareil a fonctionné en Angleterre et dans les carrières de Vaugirard. Il semble d'ailleurs avoir disparu.

La machine Taskin, qui figurait à l'Exposition universelle de 1878, doit être rapportée à ce même ordre d'idées (2).

L'excavateur Brunton (3) procède à l'attaque d'un front de taille circulaire de $2^m,20$ de diamètre, au moyen d'un véritable guillochage effectué par des couteaux qui sont montés sur des pignons valseurs. On a obtenu jusqu'à $0^m,15$ d'avancement par heure de travail effectif

(1) *CRM.* février 1880, 48. — *Bull. min.*, 1re, XIV; — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1873, 407; — *Polytechn. central Blatt*, Leipsick, 1869, 777; — *Berg und Hüttenmänische Zeitung*, 1870, 28.

(2) *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, VIII, 264.

(3) *CRM*, 1879, 117; — Biver, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 525, 830; — Rey, *Bulletin de la Société industrielle de Marseille*, 1880, 233; — *Rev univ. d. m. et u.*, 2e, V, 236; — *Polytechn. cent. Blatt*, 1868, 561; 1871, 809; — *Berg und Hüttenmänische Zeitung*, 1871, 451; — Zwick, *Neuere Tunnelbauten*, Leipzick, 1873, 68; — Watson, *Notice sur les perforatrices Brunton*, Paris, 1872.

dans les calcaires de Gardanne (Bouches-du-Rhône), avec une force de 13 chevaux, reconnue insuffisante. M. J. Dickinson-Brunton espère obtenir 0m,60, en portant la puissance à 30 chevaux.

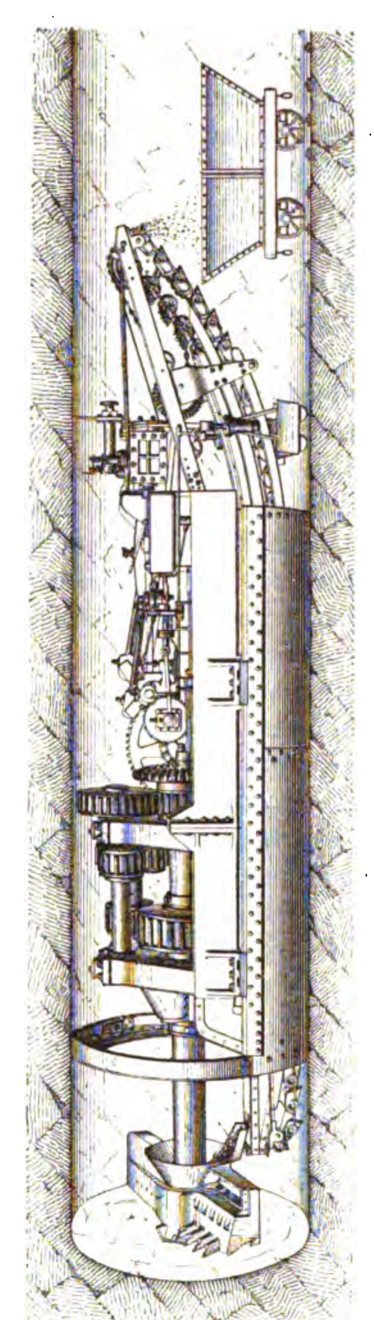


Fig. 163. Tarière Beaumont.

224 — L'excavateur du colonel Beaumont ([1]) consiste essentiellement (fig. 163) en un arbre horizontal, terminé en forme de T par une pièce présentant le diamètre de la galerie. Elle porte des ciseaux d'entaillement, qui attaquent le front de taille suivant des cercles concentriques. Les fragments tombent dans une chaîne à godets, qui passe sous le chariot et vient, à l'arrière, verser les déblais dans les wagonnets. L'arbre moteur est actionné par deux cylindres à air comprimé, mais la connexion n'est pas entièrement solide. Elle a lieu par la pression même, et permet un débrayage spontané s'il se présente un obstacle trop dur.

Quant au mouvement de progression de l'appareil Beaumont, il est très ingénieux et

([1]) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCIV, 1680, Daubrée; 1707, Raoul Duval; — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, août 1882, 298.

constitue une véritable reptation. Le bâti se compose de deux berceaux cylindriques, présentant la courbure de la galerie et pouvant glisser, l'un par rapport à l'autre, suivant ses génératrices. Le cylindre extérieur reposant à terre, l'outil s'avance, au fur et à mesure de la destruction de la roche, sous l'influence de la pression qu'il subit à l'arrière. Quand il a atteint la limite de son excursion, on arrête la rotation, on soulève l'appareil sur des crics, et c'est alors le berceau inférieur qui rejoint, en parcourant à son tour cette même longueur, la machine, maintenue immobile sur les crics. On repose alors celle-ci à terre en soulageant les crics, et l'on recommence une nouvelle travée.

Les cylindres ont $0^m,30$ de diamètre et $0^m,45$ de course ; la pression est de deux atmosphères effectives. La manivelle fait 100 tours par minute, mais les engrenages réduisent la rotation de l'outil à un tour et demi dans le même temps. L'excursion longitudinale du bâti est de $1^m,37$; la vitesse de la chaîne à godets $0^m,50$ par seconde. Le diamètre de la galerie est égal à $2^m,06$. L'avancement dans la craie grise, que l'on traverse sous la Manche, a été au début, de $0^m,60$ à l'heure. On espère le porter à 1 mètre.

On remarquera l'analogie de cette transformation du forage d'un simple trou de mine à la tarière (n° 165), en un percement de galerie à section entière, avec celle qui a amené progressivement, des plus étroits sondages de recherche, au fonçage direct des puits de mines au moyen de la sonde.

§ 4

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

225 — La perforation mécanique présente une supériorité incontestable sur le travail à la main sous le rapport de la vitesse. A cet égard, son emploi procure toujours une accélération marquée, et la différence est d'autant plus importante que les roches sont plus dures. L'avancement, presque toujours doublé, a été parfois quadruplé. On a même obtenu, à un certain moment, dans les travaux d'approche de Comberedonde (Gard), le rapport de vitesses 7,88.

226 — Cet avantage réagit *indirectement* sur le point de vue économique d'une manière utile, en permettant de mettre plus tôt en valeur certains quartiers, pour les faire intervenir dans le jeu des bénéfices et des amortissements ([1]). Mais, quant à l'effet exercé *directement* sur le prix de revient, il est ordinairement en sens contraire, et à l'avantage de la main-d'œuvre ordinaire. Parfois, on se trouve aux environs de l'égalité, et même un peu au-dessous; mais le plus souvent on observe des différences en plus, qui, presque toujours de moitié au moins, peuvent s'élever jusqu'au triple.

Il est, d'une part, évident que si, par irréflexion, on surchargeait une exploitation, d'une consistance insuffisante, de la dépense, relativement importante, que nécessite l'établissement de l'outillage à l'air comprimé, on irait volontairement au-devant d'un échec. Ces installations sont en effet coûteuses. Elles peuvent atteindre, suivant l'importance de la mine, 30 ou 40, et jusqu'à 100 ou 120 000 francs ([2]).

En outre, en écartant une telle erreur, certaines causes permanentes contribuent à un accroissement de la dépense, bien que quelques-unes d'entre elles soient sans doute susceptibles d'amélioration. La dépense de poudre est augmentée. La section nécessitée par l'installation des appareils sera souvent plus grande qu'il n'eût été sans cela nécessaire. L'ébranlement des parois, plus profond qu'avec le mode ordinaire, finit, au bout d'un certain temps, par rendre les réparations plus dispendieuses. La difficulté de l'aérage, les vapeurs nitreuses, si la ventilation est insuffisante, les poussières, le bruit assourdissant, disposent les hommes à réclamer une haute paye. L'entretien des appareils est coûteux, et nécessite ordinairement la présence permanente, dans le poste, d'un ouvrier spécial habitué à leurs avaries, et qui sera payé plus cher.

([1]) Burat en cite un exemple frappant (*Situation des houillères de Blanzy en* 1877, 82).

([2]) M. François l'évalue à 2000 francs par force de cheval utile (Burat, *Supplément au Cours d'exploitation des mines*, 1874, 14). M. Devillez va même jusqu'à 3500 francs, pour une transmission à 500 mètres (*Travaux du percement du tunnel sous les Alpes*, 201); et M. Pernolet à 5000 francs, pour une distance de 1000 mètres, y compris les constructions (*l'Air comprimé*, 565).

La question du mode de compression de l'air exercera naturellement une influence importante sur le résultat économique. C'est ainsi, par exemple, que, dans un filon de Vialas, le prix de revient du mètre de galerie est ressorti à 100 francs environ, chiffre remarquablement avantageux, dont l'abaissement tient à la suppression de la dépense de combustible, la compression étant obtenue au moyen d'une chute d'eau ([1]). Si l'on supposait, inversement, des mines métalliques écartées des bassins houillers et du réseau des chemins de fer, dans lesquelles il fallût se procurer, par charretage, du charbon, le résultat serait diamétralement contraire.

La comparaison des deux modes sera rendue plus sensible par le tableau suivant ([2]). Il exprime en francs le prix de revient du mètre d'avancement. L'extrême discordance de ces chiffres n'a rien qui doive surprendre. Elle peut tenir en partie à des différences de section de la galerie, en ce qui concerne les valeurs absolues qui occupent les deux premières colonnes. Mais on peut admettre que cette influence disparaît dans leur rapport, pour lequel celle de la roche reste seule en évidence.

MINES		PERFORATION		RAPPORT
		MÉCANIQUE	A LA MAIN	
Cessous et Trébiau. .	. . . .	201,49	285,39	0,70
Marihaye	Pierre-Denis	52,80	66,00	0,80
Seraing.	Marie.	42,90	50,60	0,86
Bézenet.	1er exemple	258,73	292,30	0,88
Bézenet.	2e exemple	222,82	215,00	1,03
Nœux.	. . . .	106,76	91,72	1,16
Bézenet.	3e exemple	254,71	202,30	1,25
Bessèges	1er exemple	170,31	103,78	1,64
Trélys	Saint-Hippolyte . . .	163,97	84,31	1,94
Bessèges	2e exemple	131,25	59,79	2,20
Trélys	Saint-Félix	173,45	62,50	2,77
Anzin.	Léonard	175,69	35,50	4,95

([1]) *Société anonyme des mines de Villefort et Vialas*, in-8°, Alais, 1878, 22.

([2]) Dressé, ainsi que le second, d'après quelques documents inédits, et les publications suivantes faites par diverses compagnies minières : Cessous et Trébiau, *CRM*, novembre

La manière dont se décompose ce prix de revient est résumée dans le tableau suivant :

DÉPENSES	NŒUX	BESSÈGES — 2e EXEMPLE	RONCHAMP	TRÉLYS — MOYENNE de 5 ans et de 2867 mèt.	BESSÈGES — 1er EXEMPLE	CESSOUS
Compression de l'air.	18,26	24,28	23,87	20,27	28,32	39,17
Main-d'œuvre à l'avancement et éclairage.	47,43	30,74	61,44	54,42	37,78	49,91
Entretien des perforateurs.	9,50	19,23	13,05	30,20	25,68	27,21
Entretien des fleurets.	2,49	7,46	4,82	9,35	10,32	6,60
Explosifs	29,08	49.54	38,18	51,83	68,21	78,60
TOTAL. . . .	106,76	131,25	141,36	166,07	170,31	201,49

227 — La vitesse et la dépense forment les points de vue les plus essentiels, mais non les seuls à considérer. Le tableau suivant ([1]) pourra renseigner en ce qui concerne les divers éléments de l'opération. On remarquera qu'il se divise en deux parties.

Les trois premières doubles colonnes, formant le tableau de la page 238, contiennent des valeurs *moyennes*, relatives aux galeries de mine, aux tunnels à grande section et au fonçage des puits; ces trois conditions du travail souterrain ne pouvant être confondues ensemble. Ces nombres présentent quelque utilité, car il est bon, quand il s'agit de dresser un avant-projet, dont les éléments ne sont qu'imparfaitement connus, de se baser plutôt sur des moyennes que sur des exemples particuliers, souvent excessifs par quelque côté.

Mais, en même temps, comme les moyennes ont l'inconvénient de brouiller d'une manière confuse les résultats dus à des influences

1876; 22. — Nœux, *CRM*, janvier 1877, 9; 1881, 61; — Trélys, *CRM*, mars 1877, 4, et novembre 1879, 277; — Bességes, *CRM*, mai 1877, 20; Bézenet, *CRM*, août 1877, 7; — Vialas, *CRM*, novembre 1879, 283; — Ronchamp, *Bull. min.*, 2e, II, 432; — Saint-Gothard, Revaux, *Annales*, 7e, XV, 450.

([1]) Dressé à l'aide des renseignements réunis par M. Pernolet dans l'Agenda Dunod pour les mines (1882, 54 et 60).

INDICATIONS		UNITÉS	MOYENNES					
			GALERIES		TUNNELS		PUITS	
			Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice
Nombre d'exemples employés pour la moyenne		»	8	8	3	3	2	1
Proportion de roche dure		»	0,470	0,333	0,870	0,870	0,420	0,340
Section de l'ouvrage		Mèt. carrés	4,000	4,220	7,270	7,010	10,620	16,710
Prix moyen de la journée de l'ouvrier		Francs	3 370	2,800	»	3,750	3,710	3,550
Nombre d'ouvriers du poste		»	3,330	4,000	11,000	26,000	6,000	4,660
Avancement journalier	moyen	Mètres	0,392	1,228	0,595	2,558	0,189	0,212
	maximum	Mètres	0,527	1,561	0,780	4,500	0,208	0,230
Avancement par mètre de trou foré		Mètres	0,078	0,046	0,044	0,028	»	0,026
Durée par mètre de trou foré		Heures et min.	3.34	1.29	»	1.47	5,25	0,45
Nombre de trous	pour 1 mètre d'avancement	»	30,000	21,700	30,000	37,666	»	150,000
	pour 1 mètre carré de section	»	1,810	3,224	0,800	5,130	»	6,200
Profondeur moyenne des trous		Mètres	0,470	1.187	0,750	1,075	0,440	0,550
Longueur forée	par mètre courant	Mètres	14,100	23,450	22,500	21,220	»	64,000
	par mètre cube	Mètres	3,170	4,926	3,000	5,680	»	5,840
Poids d'explosif	par mètre courant	Kilogrammes	4,750	10,170	»	31,130	9,600	»
	par mètre cube	Kilogrammes	1,240	1,560	»	4,400	0,600	»
Prix de revient	par mètre courant	Francs	73,400	103,940	301,000	511,200	307,640	414,210
	par mètre cube	Francs	23,400	24,340	38,200	68.350	24,320	24,790

INDICATIONS	UNITÉS	EXEMPLES SPÉCIAUX					
		GALERIE D'ANZIN (*fosse Léonard*)		GALERIE VIEILLE-MONTAGNE (*fosse Périer et Lehon*)		TUNNEL DU ST-GOTHARD (*coté de Gœschenen*)	
		Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice
Proportion de roche dure	»	0,000	0.000	1,000	1,000	1,000	1,000
Section de l'ouvrage	Mèt. carrés	3,500	3,500	5,000	5,000	7,500	6,750
Prix moyen de la journée de l'ouvrier	Francs	2,320	3,000	2,270	3,070	»	3,750
Nombre d'ouvriers du poste	»	2	2	4	5	6	18
Avancement journalier — moyen	Mètres	0.506	0,615	0,176	0,331	0,530	3,770
Avancement journalier — maximum	Mètres	»	»	0,225	0,650	0,900	6,100
Avancement par mètre de trou foré	Mètres	0,069	0,069	0,068	0,049	0,044	0,035
Durée par mètre de trou foré	Heures et min.	1.47	1.23	7.30	1.14	»	2.18
Nombre de trous — pour 1 mètre d'avancement	»	27,600	23,500	37,000	29,000	30,000	26,000
Nombre de trous — pour 1 mètre carré de section	»	1,710	1,420	1,300	2,200	0,800	3,850
Profondeur moyenne des trous	Mètres	0,525	0,613	0,400	0.700	0,750	1,100
Longueur forée — par mètre courant	Mètres	14,400	14,400	14,800	20.250	22,500	28,600
Longueur forée — par mètre cube	Mètres	4,120	4.130	2,950	4,050	3,000	4,220
Poids d'explosif — par mètre courant	Kilogrammes	5,250	3,970	5,750	5,400	»	24.000
Poids d'explosif — par mètre cube	Kilogrammes	1,500	1,140	1.250	1,080	»	3,560
Prix de revient — par mètre courant	Francs	35,500	175,690	285,390	200,730	»	284,000
Prix de revient — par mètre cube	Francs	10,000	50,480	56,980	39,640	»	42.200

très diverses, et inégalement réparties dans les exemples qui ont servi à les asseoir, j'ai ajouté, pour présenter des types *réels*, trois autres doubles colonnes constituant le tableau de la page 239. Le premier exemple est relatif à des matières absolument tendres ([1]), le second à des roches franchement dures ([2]). Le rapport des prix de revient à la machine et à la main passe alors de 4,95 à 0,80; c'est-à-dire qu'il est dans le premier cas 6,2 fois plus grand que dans le second, circonstance bien propre à mettre en évidence cette influence de la dureté. Quant au troisième exemple ([3]), il est relatif à un tunnel, pour caractériser l'influence des grandes sections ([4]).

([1]) Anzin, fosse Léonard; grès tendre à gros grains; section trapézoïdale à angles arrondis.

([2]) Vieille-Montagne, fosse Périer et Lehon; grauwacke schisteuse quartzifère très compacte; section rectangulaire à angles arrondis.

([3]) Saint-Gothard, granite et gneiss homogènes; section rectangulaire avec couronne légèrement arquée.

([4]) Au tunnel de l'Arlberg, on est avancé en 1882 à raison de $3^m,592$ par jour, sur une face, et $4^m,805$ par l'autre (*Annales*, 8e, I, 597).

TROISIÈME PARTIE

VOIES DE COMMUNICATION

CHAPITRE X

BOISAGE

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LE SOUTÈNEMENT

228 — *Puits et galeries.* — Nous avons consacré la seconde partie de ce cours à faire connaître avec détail les ressources si variées dont dispose le mineur pour attaquer le massif. Mais, de ce problème sommaire, qui consiste à dépecer quelques mètres cubes, on ne saurait passer directement à celui de l'enlèvement complet du gîte, c'est-à-dire à la méthode d'exploitation. Un intermédiaire est nécessaire. Il concerne la constitution des organes essentiels dont doit être armée une mine, pour qu'une aussi vaste opération puisse s'y développer avec ordre, et que le fonctionnement régulier de tous les services qui concourent à cette même fin, s'opère sans trouble et sans confusion.

Ce que nous appelons en ce moment un *organe*, en assimilant la mine à un corps organisé dans lequel des centres et des vaisseaux spéciaux président aux diverses fonctions, consiste essentiellement en un *vide* spécial, doté du *matériel* nécessaire pour y effectuer

un transport déterminé. Mais, du reste, nous avons averti dès le début, que tout ce qui est relatif aux transports ne serait, pour plus de clarté, envisagé que plus tard, après l'attaque du gîte. Ne parlons donc, en ce moment, que de la production et de la conservation du vide.

229 — Un terrain quelconque se prête ordinairement à ce qu'on y pratique un certain degré de vide, c'est-à-dire ce qu'on appelle une *excavation*. Sa *solidité* détermine la limite, variable d'une roche à l'autre, que l'on ne saurait dépasser sans provoquer l'éboulement. Cette limite, pour les matières *dures*, est parfois extrêmement reculée. On voit certaines chambres de dissolution du Salzkammergut se tenir avec un plafond plat, et sans aucun support, sur une étendue de trois mille mètres carrés. Les ardoisières souterraines d'Angers présentent des excavations de 30 mètres de largeur sur 60 mètres de longueur et 100 mètres de hauteur. Héron de Villefosse a vu, au commencement de ce siècle, dans la saline de Wieliczka (Pologne russe), une chambre appelée Kamara Klosky, de 60 mètres de diamètre et 114 mètres de haut [1]. On a de même exploité de 1674 à 1766, dans les mines de sel de Marmaros (Hongrie), une chambre qui atteignit les dimensions horizontales de 52 mètres sur 62 mètres, avec une hauteur sous clef de 120 mètres, dont 92 sont aujourd'hui remplis d'eau ; et une autre de 147 mètres de hauteur et de 47 mètres de diamètre, dans laquelle tiendraient les hauteurs superposées du Panthéon et de l'église Notre-Dame de Paris (n° 401).

La nature, de son côté, nous présente souvent des vides gigantesques. Pour n'en citer qu'un seul exemple, on voit au Kentucky les grottes du Mammouth, qui présentent 40 kilomètres de développement. Sur un point, le *dôme géant* recouvre un espace immense avec une hauteur supérieure à 130 mètres.

A l'autre extrémité de l'échelle de solidité, nous trouvons les terrains appelés *inconsistants* ou *ébouleux*, qui n'admettent que des excavations de très faibles dimensions, souvent même inférieures au

(1) *Atlas de la richesse minérale*, II, 392.

volume du corps de l'homme; et enfin les terrains *coulants* et *aquifères*, qui ne comportent plus aucun degré de vide. Cette circonstance ne sera pas cependant pour le mineur un obstacle absolu, si un but suffisamment important assure une rémunération proportionnée aux efforts et aux dépenses que nécessitent de tels percements. Ils forment alors l'objet de méthodes toutes spéciales, que nous aurons à faire connaître.

230 — En même temps que le volume de l'excavation, il en faut discuter la forme.

Tout espace présente trois dimensions. Si toutes les trois peuvent croître outre mesure, nous arrivons à ces vides exorbitants dont je viens de citer quelques exemples à titre de curiosité, mais dont l'emploi ne saurait jamais être justifié que par des circonstances absolument exceptionnelles.

On doit, dans les conditions normales, concevoir que l'une au moins des dimensions reste étroitement limitée, tout en laissant encore les deux autres croître à volonté. L'excavation s'étend alors, non plus à proprement parler *en volume*, mais *en superficie*, en conservant partout, perpendiculairement à son plan, une épaisseur définie et restreinte. C'est ce que nous nommerons le *chantier* ou la *taille*, qui sert à effectuer l'enlèvement du gîte. Non pas, bien entendu, que tout chantier soit ainsi indéfiniment étendu en surface. La plupart du temps, au contraire, nous serons conduits à le réduire dans deux sens au lieu d'un, et même dans tous les sens à la fois. Mais du moins il offrira ce caractère dans certaines méthodes, et nous pouvons parfaitement, en ce moment, nous le représenter sous cet aspect.

Dans d'autres cas, ce ne sera plus seulement l'une des trois dimensions, mais deux d'entre elles, qui seront limitées en principe, la troisième pouvant encore croître d'une manière arbitraire. Le vide s'étend alors d'*une manière linéaire*, en conservant une section normale restreinte. Il constitue une *voie de communication*, reliant deux points plus ou moins éloignés.

Enfin, les trois dimensions à la fois pourront être réduites, pour des excavations déterminées, et donneront lieu à des *points singu-*

liers du réseau souterrain, tels que accrochages, écuries, chambres de machines, etc.

Parmi ces trois classes d'ouvrages : chantiers, voies de communication, points singuliers, notre objet actuel est facile à circonscrire. La description du premier ne doit pas encore nous occuper. Elle formera, dans la quatrième partie de ce cours, la base de l'exposition des méthodes d'exploitation, destinées à organiser ce chantier unique, ou à grouper les chantiers élémentaires, en vue du dépècement rationnel du gîte. L'étude actuelle comprendra seulement les deux autres cas ; et comme, d'ailleurs, les points singuliers n'y auront qu'une importance extrêmement effacée, nous pouvons réduire aux seules voies de communication le titre de la troisième partie de ce Cours.

231 — La communication entre deux points donnés peut s'effectuer suivant une ligne quelconque. Indépendamment des irrégularités et des sinuosités inévitables dans la pratique, on peut même rencontrer des motifs théoriques pour disposer *a priori* le profil en long suivant des courbes déterminées [1]. Cependant il est clair que le type fondamental sera la ligne droite, comme la plus simple et la plus courte.

D'un autre côté, quand la grandeur et la forme de la section auront été discutées pour un point de cet ouvrage, en vue des transports dont il doit être le théâtre, les mêmes motifs subsistant en général pour tous les autres, cette section restera constante. La forme type du vide à créer pour une voie de communication est donc le prisme.

Si ses génératrices sont rigoureusement verticales, il prend le nom de *puits ;* si elles sont horizontales, celui de *galerie ;* quand elles sont inclinées, celui de *montage*. En réalité, une galerie n'est presque jamais rigoureusement horizontale. On lui donne une très légère pente, pour la facilité du roulage et l'écoulement des eaux. Mais, lors même que cette inclinaison deviendrait notable, les fonc-

[1] Je citerai comme exemple le profil cycloïdal des rampes d'équilibre, pour les tractions mécaniques à chaîne traînante (chap. XXX, § 6).

tions du montage et ses conditions d'établissement se rapprochent beaucoup de celles des galeries. Quand ces ouvrages deviennent très raides, au contraire, on peut les rattacher directement aux puits. Ils ne méritent pas, en un mot, tant que nous restons dans les généralités, de former une espèce absolument distincte, tandis que l'influence de la pesanteur établit une coupure infranchissable entre la théorie des puits et celle des galeries. C'est donc à ces deux types essentiels que nous réduirons, en ce moment, les voies de communication.

232 — *Soutènement.* — Lorsque le degré de solidité de la roche laissera plus de latitude que n'en nécessite la grandeur de l'excavation à établir, il sera toujours facile de se limiter. Mais si, au contraire, la nature du terrain ne permet pas de constituer directement le degré de vide indispensable pour les manœuvres de l'homme et le passage des véhicules, il devient nécessaire de venir en aide à cette solidité insuffisante. C'est l'objet du *soutènement.*

Ce serait se faire l'idée la plus fausse du soutènement, que de le croire appelé à supporter purement et simplement le poids du massif qui le surmonte verticalement. Aucune construction souterraine n'y saurait suffire en général. Il faut remarquer, au contraire, que les réactions mutuelles exercées par les diverses parties de la masse les unes sur les autres, sont loin, dans l'état d'équilibre naturel, d'être purement verticales, mais s'entremêlent dans les sens les plus divers. De plus, quand nous venons à troubler cet équilibre, en pratiquant en un point une excavation, les forces qui étaient appliquées par la partie supprimée à celle qui la surmonte, sont seules anéanties, en ce qui concerne cette dernière. Toutes les autres subsistent, de la part des masses environnantes. Il suffit donc de leur venir en aide, en apportant l'appoint nécessaire pour rétablir l'équilibre, si, en raison d'une trop grande portée, il ne peut plus avoir lieu sans ce secours étranger. Mais il est clair que cet appoint sera proportionné, bien plutôt au degré de trouble apporté dans l'ensemble, c'est-à-dire à l'importance de l'excavation, qu'au poids absolu du terrain qui la surmonte, lequel peut croître au delà

de toutes limites. Dès lors la difficulté cesse de paraître insurmontable, et, en effet, le soutènement des parois est ordinairement chose facile.

233 — Cependant les mineurs ne connaissent que trop certains cas, où ils ont à lutter contre l'*effort irrésistible,* qui arrive toujours, quoi qu'on fasse, à détruire, et parfois même dans un temps très court, l'édifice souterrain que l'on tente de lui opposer. Les bois s'écrasent, les maçonneries se disloquent, les profils circulaires s'aplatissent, l'étendue du vide se comble progressivement.

Cet effet se produit souvent dans des terrains susceptibles de gonfler ou *foisonner* par le contact de l'air humide, comme c'est le cas de l'anhydrite ou de certaines marnes. D'autres fois, c'est simplement la pression transmise par les piédroits à une masse plastique, qui la fait refluer dans le vide de la galerie.

Il faut alors *rebancher* celle-ci pour rétablir sa sole. Si, au contraire, la pression tend à écraser le plafond, on doit *recouper* ce faîte. Si c'est une des parois latérales qui pousse au vide, on la recoupera également. Mais on aura alors, pour rétablir la section, la ressource d'entailler, au lieu de ce piédroit, la paroi opposée, si l'on y trouve quelque avantage; par exemple, si la matière qui la constitue est rémunératrice, tandis que l'autre est stérile.

Ordinairement l'effet irrésistible finit par s'épuiser, quand on lui a donné suffisamment carrière. Après avoir sacrifié un ou plusieurs boisages provisoires, on arrive enfin à pouvoir construire avec plus de soin un revêtement définitif.

234 — Il reste néanmoins alors, bien entendu, comme dans le cas général, la question de l'*entretien,* mais réduite à des termes ordinaires. On fait bien, du reste, en ce qui concerne les réparations, remplacements, redoublements, de prendre les devants, dès que s'indique leur nécessité. En effet, les conditions ne sauraient s'améliorer d'elles-mêmes. Le mal ne fera que s'aggraver, et, là où une légère dépense pourrait suffire, en arrêtant à temps la dégradation, l'on se trouvera peut-être entraîné à des frais beaucoup plus importants, pour avoir trop attendu.

Cette question capitale du soutènement doit être d'abord envisagée en elle-même. Quand nous aurons suffisamment approfondi les généralités qui la concernent, il deviendra beaucoup plus facile de concevoir de quelle manière la pose du revêtement se marie avec l'abatage lui-même, lorsque l'inconsistance du terrain ne permet plus de séparer nettement les deux opérations, en les effectuant distinctement, l'une à la suite de l'autre.

Il existe trois modes essentiels de soutènement, dans lesquels on emploie : le bois, la pierre ou le métal. Nous les appellerons : ***boisage***, ***muraillement*** et ***blindage***. L'étude du boisage va former l'objet du présent chapitre.

§ 2

GÉNÉRALITÉS SUR LE BOISAGE

235 — *Essences*. — Les bois que l'on emploie le plus ordinairement pour le soutènement des mines se répartissent en trois catégories : bois ***durs***, bois ***résineux***, bois ***blancs***. Les bois durs comprennent le chêne, le hêtre, le châtaignier, l'orme et le frêne ; les bois résineux : le pin, le sapin et le mélèze ; enfin les bois blancs : le peuplier, le bouleau, l'aune, le charme et l'acacia.

On peut admettre pour le poids spécifique des diverses essences les limites suivantes (1).

(1) *Agenda* Dunod pour les mines, 1882, 63.

ESSENCES	POIDS SPÉCIFIQUE EN KILOGRAMMES	
	MINIMUM	MAXIMUM
Acacia	717	820
Aune	555	800
Bouleau	700	714
Charme	756	756
Châtaignier	683	1100
Chêne blanc	643	1015
Chêne vert	930	1220
Frêne	785	785
Hêtre	750	852
Mélèze	657	657
Orme	743	942
Peuplier	371	414
Pin	814	828
Sapin	460	657

236 — Les propriétés par lesquelles se recommandent ces diverses espèces sont les suivantes.

La *solidité*, pour laquelle le chêne se place au premier rang, et après lui le sapin rouge ([1]); les bois blancs au dernier. Ceux-ci résistent mieux aux chocs. Quelques-uns d'entre eux, particulièrement l'aune, le tremble, et surtout le saule, présentent cet avantage, que, lorsqu'ils sont sur le point de se briser, ils font entendre un craquement précurseur qui avertit l'ouvrier, et lui permet de se mettre à l'abri de l'éboulement.

La *rectilignité*, qui appartient principalement au chêne, au pin, au châtaignier et au hêtre. Au contraire, l'orme et le frêne sont recherchés pour les emplois en pièces courbes.

La *légèreté*, que présentent surtout les bois résineux et les bois blancs.

La *résistance à l'humidité*, pour laquelle l'aune se place au

([1]) On appelle ainsi dans le Nord le pin sylvestre, qui est un vrai bois de mines. On a moins de confiance dans le pin maritime, et surtout dans les pieds qui ont subi l'opération du *résinage*. L'écoulement de la résine paraît leur ôter une partie de leur élasticité et de leur résistance. On a renoncé à cette pratique dans les forêts de la Grand'-Combe.

premier rang, et après lui le chêne, le hêtre, le châtaignier, le pin [1].

Enfin la ***résistance au mauvais air.*** Une atmosphère viciée développe en effet dans le bois une véritable maladie organique qu'on appelle la *carie sèche* [2]. L'acacia passe pour résister très bien à cette influence [3]; le chêne, bien; l'aune, le tremble, le saule, assez bien; le mélèze, assez mal; le châtaignier, le hêtre, mal; le sapin, très mal. Le bouleau présente cet inconvénient spécial, que souvent son écorce ne participe pas à la décomposition de l'intérieur, et peut la dissimuler d'une manière dangereuse.

237 — *Conservation des bois.* — On a proposé divers procédés pour prolonger la durée des bois [4]. Ces formules sont assez analogues à celles que l'on emploie pour la conservation des traverses de chemin de fer. Il y a pourtant entre ces deux cas une différence essentielle. Les traverses ne périssent que par altération chimique, résultant de leur vétusté, tandis que, d'ordinaire, les bois de mine sont voués à l'écrasement, avant d'être atteints par une décomposition profonde. Aussi les procédés doivent-ils être pour eux beaucoup plus sommaires et moins coûteux. On peut

(1) Nous avons déjà dit (n° 100) que si les alternatives de sécheresse et d'humidité sont destructives du bois, son séjour permanent dans l'eau tend plutôt à le conserver. On pourrait citer certains puits, dans lesquels on ménage à dessein des suintements d'eau sur les boisages. A la mine Ottilia (Westphalie), on arrose de même les fahrkunst.

On a également proposé de commencer par saturer d'eau les bois, en les faisant séjourner au fond de quelque puits abandonné, sous une grande pression hydrostatique. Les tiges de bois employées dans les sondages prennent une densité très supérieure à l'unité, tant par suite d'une réduction de volume, due à la compression qu'elles subissent, que par l'introduction du liquide dans le tissu fibreux. L'eau, ainsi unie à la matière ligneuse, ne l'abandonne plus ensuite que très lentement.

(2) Elle est contagieuse et se propage d'un cadre à l'autre. Elle répand une odeur *sui generis*. Le bois qui en est attaqué perd peu à peu sa consistance, et se laisse pénétrer facilement par une pointe de fer.

Des végétaux parasites y alimentent leurs racines. Des cryptogames s'y développent, sous la forme de grosses touffes, excessivement légères, d'une mousse blanche comme la neige ou légèrement verdâtre, ou encore de dentelles blanches infiniment déliées, plaquées sur le plafond, et formant, autour de la tête des bois, des cercles qui atteignent jusqu'à 1m,50 de diamètre. Parfois ces végétations sont légèrement phosphorescentes.

(3) Mais on lui reproche de *casser sec*.

(4) Fouert, *Bull. min.*, 2e, VIII, 289. — Paulet, Traité de la conservation des bois, *Annales télégraphiques*, juillet, août 1874.

même les supprimer complètement, dans les exploitations où le toit travaille d'une manière notable.

Le flambage produit peu d'effet. Le goudronnage laisse les bois poisseux et odorants.

Avec le procédé Lostal ([1]), on fait digérer les bois dans un lait de chaux. La dépense revient à 1 fr. 71 par mètre cube, ou 0 fr. 062 par mètre courant. La durée est, dit-on, doublée, et les bois deviennent moins cassants, à l'inverse de ce que produit l'imprégnation par les dissolutions métalliques. Le chêne, toutefois, a un tissu trop serré pour éprouver de la part de l'eau de chaux une véritable influence.

La naphtaline, la créosote et le tannate de fer ont été également essayés. La saumure de chlorure de sodium paraît préserver les bois dans les mines de sel, seulement elle les rend très cassants. On a essayé de même, soit à froid, soit à la température de 130°, le bichlorure de mercure, le chlorure de zinc et celui de calcium; mais ce dernier est très hygroscopique. Les eaux vitrioliques des mines de pyrite de fer ou de cuivre ont été également utilisées pour cet usage, par analogie avec les procédés du docteur Boucherie ou de MM. Léger et Fleury.

M. Fayol a systématisé l'emploi du sulfate de fer ([2]), au moyen d'une solution de 150 kilogrammes de vitriol par mètre cube d'eau. On ne donne à l'immersion qu'une durée de 24 heures, pour éviter de rendre le bois cassant. L'imprégnation ne pénètre guère, dans ces conditions, qu'à un millimètre de profondeur, et néanmoins cette modification a paru décupler la durée. L'opération revient à 0 fr. 05 par mètre courant.

238 — M. Fayol a fait des études comparatives ([3]), portant à la fois sur l'influence de l'essence végétale et sur celle du réactif employé. Les chiffres de durée *proportionnelle* mentionnés dans le premier tableau ont été établis, *en prenant pour unité pour chaque*

([1]) *CRM*, novembre 1877, 7.
([2]) *CRM*, 1878, 38. — *Bull. min.*, 2e, III, 569.
([3]) *CRM*, 1878, 118.

espèce celle DU MÊME BOIS *à l'état naturel.* On considère en outre comme usées les pièces qui ont perdu la moitié de leur résistance.

ESSENCES	PROCÉDÉS DE CONSERVATION						
	EAU DE MINE	CARBONISATION	GOUDRON	CRÉOSOTE	CHLORURE DE ZINC	SULFATE DE CUIVRE	SULFATE DE FER
Acacia . . .	1,20	7,22	5,33	2,20	40,00	8,00	26,60
Alisier . . .	»	»	1,00	»	20,00	»	50,00
Bouleau . .	1,00	»	»	»	50,00	2,66	13,33
Cerisier . .	1,66	»	3,16	»	»	2,50	1,83
Charme . .	3,00	2,50	7,00	15,00	50,00	»	12,00
Chêne . . .	10,40	1,00	14,40	3,60	14,40	38,40	28,80
Érable . . .	2,50	3,00	6,00	12,00	»	7,50	»
Hêtre . . .	1,00	1,37	6,00	1,75	50,00	50,00	7,50
Peuplier . .	1,00	»	2,20	»	»	11,38	2,61
Pin maritime .	1,00	1,00	»	40,00	8,00	5,33	2,66
Tremble . .	1,00	»	2,50	»	»	2,50	8,00
Verne . . .	1,00	1,00	2,11	40,00	40,00	4,00	10,00

Quant à la durée *absolue*, elle a, pour chacune de ces espèces, la valeur suivante :

Chêne.	50 mois.
Hêtre	24 —
Bouleau, cerisier, peuplier, pin, tremble, verne.	18 —
Acacia.	9 —
Charme, érable.	6 —

Ces divers nombres, multipliés par les coefficients renfermés dans le premier tableau, permettent de faire la double comparaison qui résulte du choix de l'essence et du procédé.

239 — *Données économiques.* — La consommation du bois pour le soutènement des mines, intéresse par son importance la richesse publique [1]. Elle s'est élevée en France, pour l'année 1876, à

[1] De Thélu, inspecteur des forêts, *Notice sur les étais de mine en France*, in-4°.

738 900 stères, ce qui représente la production de 184 800 hectares de forêts [1].

Rapportée à l'extraction du combustible, elle correspond à $0^{m3},047$ de bois, c'est-à-dire une valeur de 0 fr. 96, par tonne de houille. Cette quantité de combustible minéral est capable par elle-même d'un pouvoir calorifique 187 fois plus grand que celui du bois qu'on lui sacrifie. Rien n'est plus variable du reste, d'une mine à l'autre, que le chiffre de cette consommation, suivant les conditions où se trouvent placées les exploitations. En France, elle se tient en général entre 0 fr. 30 et 2 fr. 00. Elle paraît moindre en Belgique: 0 fr. 60 à 0 fr. 90 environ; et surtout en Angleterre, où elle s'abaisse à 0 fr. 20 ou 0 fr. 30, en raison des conditions beaucoup plus favorables que présentent les gisements de combustible de la Grande-Bretagne. On est même descendu, dans le Durham, à 0 fr. 10 de bois par tonne de houille. A un point de vue inverse, on peut citer, comme exemple exceptionnel, la mine de Lower Duffryn (South-Wales), où le boisage a atteint 3 fr. 00, soit environ 100 kilogrammes, par tonne de charbon.

Si on l'évalue en longueur, la consommation de bois est en général, en France, de $0^{m},50$ à $2^{m},00$, et même $2^{m},50$, par tonne de houille.

240 — Le déboisage permet de réduire notablement cette consommation [2]. Mais c'est une opération délicate, à la vérité de plus en plus répandue. On ne doit s'y livrer qu'avec les précautions nécessaires, et lorsque la nature du gisement le permet nettement, que la couronne est solide et donne avec ensemble, sans coups de charge irréguliers. On trouve également dans cette pratique l'avantage de réduire l'aliment de l'incendie.

On retire alors tout ce qu'on peut, avant et pendant le rem-

[1] Sur ce chiffre, la France, par 62 de ses départements, produit 692 000 stères. la Belgique en importe 44 200, et l'Allemagne 2700. Par contre, la France exporte en Belgique 136 500 stères de bois d'étais, en Angleterre 81 200, et en Allemagne 860, c'est-à-dire en tout 218 560, ce qui fixe sa production propre à 910 560 stères pour l'étançonnage des mines.

[2] M. Fayol annonce qu'il réalise ainsi à Commentry une économie de moitié (*CRM*, 1878, 120).

blayage, et l'on arrache encore avec un cric les bois des parties remblayées, dont on rencontre la tête en tranche supérieure. Il faut avoir soin pour cela de les placer le gros bout en haut. Si le déboisage est dangereux, on réussit encore à enlever quelques bois, en installant à distance un treuil, et tirant sur les buttes avec des chaînes. Quand un des étais est renversé, l'on continue l'action du treuil, pour l'attirer le plus vite possible, avant qu'il soit pris sous l'éboulement [1].

241 — Certaines sociétés minières ont trouvé avantageux d'acheter des superficies considérables, comprises dans le périmètre de leur concession, et de les semer, ou planter, avec des essences bien appropriées. La compagnie de la Grand'Combe a boisé de cette manière environ 1200 hectares.

En se mettant ainsi de bonne heure au lieu et place des propriétaires de la surface, avant qu'un grand développement de l'entreprise ait amené une plus-value importante des terrains, on évite des contestations, à la fois pour les dégâts que les affaissements apporteront dans la superficie, pour la disparition des eaux d'irrigation, pour le tracé des chemin de fer de communication, etc. De plus, on arrive à créer au bout de quelque temps une exploitation forestière qui, si elle ne suffit pas à la consommation souterraine, peut du moins servir de régulateur dans les achats faits au dehors.

242 — Les bois *en grume* destinés à la charpente se vendent de 30 à 50 francs le mètre cube. Les bois plus ou moins façonnés peuvent coûter de 50 à 150 francs, et les pièces de choix jusqu'à 300 francs. Les simples rondins, destinés à rester en cet état dans le boisage, se payent de 25 à 35 francs le mètre cube.

Pour les petits calibres, on compte au mètre courant plutôt que d'après le volume. Le prix du mètre varie d'après le diamètre, depuis 0 fr. 15 jusqu'à 1 franc. Dans le centre et le midi de la France, il oscille entre 0 fr. 30 et 0 fr. 60.

[1] *CRM*, 1878, 50. — Ledoray, 6e *Bulletin* de la Société des anciens élèves de l'École des mines de Hainaut, 107. — Eckart, *Preuss. Zeitschrift*, IV, 243.

Les bois de dimensions exceptionnelles deviendraient d'un prix inabordable, en dehors des régions spécialement favorisées sous ce rapport. C'est ainsi que les forêts de Pologne fournissent aux houillères de Silésie et de Dombrowa des bois qui atteignent parfois 12 et 13 mètres de longueur sur 0m,35 de diamètre moyen, au prix de 5 francs pièce, ce qui en met le mètre cube à 4 francs environ; tandis qu'il faudrait, en France, les payer sept ou huit fois plus cher.

243 — Les exploitants accumulent d'assez grandes provisions de bois sur le carreau de leur mine. Il est bon d'aménager pour cela un emplacement exposé au nord, pavé et incliné, couvert s'il est possible. On devra en éloigner les amas de sciure de bois, d'écorces, de copeaux, susceptibles de fermenter avec l'humidité. Il convient de débarrasser d'avance les bois de leur écorce, qui n'ajoute rien à la solidité et accélère les influences de décomposition.

On empile les gros bois; on place les perches debout. Les sortes différentes sont amoncelées distinctement. On sépare par des fils de fer les divers milliers ou centaines de pièces. On a soin de n'entamer qu'une seule série à la fois, pour faciliter la tenue d'une comptabilité journalière et les vérifications.

244 — *Emploi des bois.* — On débite les bois en *rondins*, ou *demi-rondins*, en fendant les premiers suivant un plan méridien. Ceux qui sont d'un moindre diamètre s'appellent *perches*, et les plus minces *rallongues*. Pour les garnissages, on se sert d'*esclimbes*, obtenues en refendant en quatre de petits rondins; de *croûtes*, enlevées par l'équarrissage sur le flanc des pièces rondes; de *veloutes*, de *fagotages*, de *fascines*, pour les parties de plus en plus ébouleuses.

Les bois ouvragés sont : les *sommiers*, pour les plus forts équarrissages, souvent formés de plusieurs pièces juxtaposées et frettées ensemble; les *madriers* et les *palplanches*, sortes de planches épaisses et régulièrement dressées, pour construire avec précision des ouvrages spéciaux; les *écoins*, pièces analogues de faible lon-

gueur. Les bouts rejetés sont refendus pour former des ***picots***, des ***coins***, des ***plat-coins***, des ***briques de bois***.

245 — Souvent le même ouvrier est chargé de toutes les parties du travail : abatage, boisage, pose des voies, etc. Le prix de l'avancement comprend alors en général le boisage. Cependant il est préférable, même dans ce cas, de payer ce dernier à part, pour que le mineur ne soit pas tenté de préférer son bénéfice à sa sécurité.

Pour obvier à cet inconvénient, on donne le bois à discrétion; on va même jusqu'à renvoyer le piqueur qui provoque un éboulement par sa faute constatée. D'autres fois, on rend le soutènement tout à fait systématique, en déterminant exactement le type de quadrillage que doit former le boisage; quoiqu'il soit bien clair que l'on s'expose ainsi à des dépenses inutiles sur certaines places, puisque cette fixation doit se faire, pour être efficace, d'après le minimum de solidité.

Le même résultat s'obtient plus nettement, en séparant les deux fonctions de l'abatage et du soutènement. En outre, les boiseurs spéciaux acquièrent rapidement une grande habitude de ce genre de travail.

246 — La charpenterie des mines est, du reste, tout à fait grossière, et bien loin de constituer un art comparable à celui auquel on doit les belles constructions en bois de nos édifices, ou de leurs échafaudages temporaires. Dans ces dernières, les pièces se pénètrent mutuellement, en constituant des ***assemblages***, dont la théorie forme une des branches d'applications de la géométrie descriptive. Dans les mines, au contraire, les bois sont simplement ***appuyés*** les uns contre les autres. La ceinture de pressions que le terrain exerce de toutes parts, ne laisse aucune latitude à leur séparation, et, en outre, s'opposerait aux manœuvres, écartement, insertions nécessaires pour marier les éléments de l'assemblage.

Les efforts sont d'ailleurs tels, que ces juxtapositions deviennent souvent des pénétrations, et que certains bois s'incrustent dans les autres comme dans une substance malléable.

247 — Il ne sera pas inutile à cet égard de rappeler ici, sans dé-

monstration, les principes généraux que fournit la théorie de la résistance des matériaux.

1° A poids total égal, il vaut mieux employer une grosse pièce que plusieurs petites. Une pièce fractionnée en n autres, égales entre elles et semblables à la première, résiste mieux à la flexion que leur ensemble, et la fatigue y est réduite dans le rapport de 1 à $\sqrt{n}$.

2° Si l'on assemble plusieurs pièces de bois pour travailler debout ou transversalement, ou si l'on moule de la fonte, les sections évidées fonctionnent, à surface égale, dans de meilleures conditions que les sections pleines.

3° Pour une section donnée, il vaut mieux faire fléchir la pièce *de champ*, c'est-à-dire dans le plan de sa plus grande dimension. Pour un rectangle, la charge par unité de surface varie en raison inverse du côté placé *debout*, et la flèche en raison inverse de son carré.

4° En ce qui concerne la longueur, il convient toujours de la réduire au minimum. Pour une charge transversale appliquée à l'extrémité d'une pièce encastrée, la fatigue est proportionnelle à la longueur, et la flèche au cube de cette longueur.

On peut, à cet égard, réduire les longueurs *libres*, en entretoisant les pièces. Par exemple, pour du bois travaillant debout, la charge admissible sur la tête varie comme le carré du nombre plus un des moises. Il deviendra quadruple si l'on introduit une seule moise, neuf fois plus grand avec deux moises, et ainsi de suite.

5° L'encastrement d'une extrémité que l'on scelle dans une direction fixe, au lieu de la laisser s'incliner librement, ajoute beaucoup à la raideur. Par exemple, pour une pièce qui ne supporte que son propre poids, la flèche sera cinq fois moindre si ses extrémités sont scellées, que si elles sont simplement posées sur des appuis.

6° Il vaut mieux répartir la charge sur toute la longueur, que de l'accumuler à l'extrémité. La flèche est réduite par là dans le rapport de 5 à 8.

7° Il sera bon de tenir compte du jeu et des petits mouvements impossibles à éviter, pour disposer les pièces un peu à côté de la position jugée la meilleure, de telle manière que le tassement probable ait pour effet de les ramener à cette situation.

248 — Pour la mise en œuvre du bois, le mineur emploie rarement la *scie;* il s'en sert cependant pour dresser suivant un plan les pièces qui travaillent debout. On commence toujours par ajuster ainsi le gros bout, afin d'obtenir plus de résistance dans l'ensemble, en détachant dans la partie mince l'excédent de longueur.

Le véritable instrument du boiseur est la *hache* (fig. 164 et 165). La lame peut être équilibrée par une tête, formant masse pour frapper quand il est nécessaire. La hachette de mineur a $0^{m},21$ de longueur, $0^{m},17$ de hauteur, $0^{m},04$ d'épaisseur au corps. Elle pèse 1 kilogramme, et coûte 1 fr. 20, plus 0 fr. 20 pour le prix du manche. Il y en a également qui sont plus lourdes et plus chères.

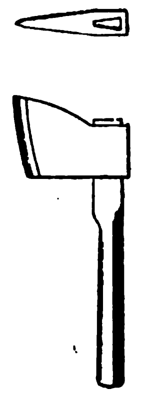


Fig. 164 et 165. Hache de boiseur (plan et élévation).

L'ouvrier procède autant que possible en éclatant le bois suivant les fibres, et en évitant de trancher ces dernières. En effet, une fibre coupée, et ne portant plus directement sur le point d'appui, est à peu près comme non avenue pour la résistance.

Il semble difficile d'automatiser un travail aussi simplifié que celui que nous venons d'indiquer, et qui exige une appréciation de détail pour chaque pièce. J'en citerai cependant deux exemples. C'est ainsi qu'il existe dans le Pas-de-Calais des *machines à picots*, employées à façonner ces petites pyramides quadrangulaires très allongées, dont on fait, comme nous le verrons, une énorme consommation pour la traversée des passées aquifères dans le fonçage des avaleresses.

On a également monté à Blanzy une *machine à encocher*, destinée à dresser l'*assemblage à gorge de loup* (fig. 166 et 167) qui est le mode ordinaire de juxtaposition des pièces de cadre. Il s'obtient à l'aide de quatre traits de scie, et présente cet avantage de ne pas entailler un des deux bois plus que l'autre, afin de diminuer aussi peu que possible la somme de résistance. La pièce, placée

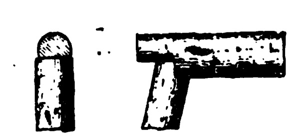


Fig. 166 et 167. Assemblage en gorge de loup (élévations antérieure et latérale).

sur un chariot, vient se présenter successivement à quatre scies rotatatives, orientées sous les angles voulus pour dresser les quatre plans de l'assemblage.

Une mine de quelque importance doit toujours posséder un atelier de menuiserie, renfermant au moins les ressources nécessaires pour les réparations du matériel.

§ 3

BOISAGE DES GALERIES

249 — *Cadre normal* — Les galeries se boisent au moyen de *cadres*, disposés suivant les sections droites du prisme. Quand le terrain exerce une forte poussée, ces cadres sont *jointifs*. Si la masse travaille peu, on les espace dans une mesure variable avec l'importance des pressions. Lorsque, sans exercer de grands efforts, le terrain est cependant sujet à se dégrader, on continue à espacer les cadres au degré convenable pour résister à la poussée, mais on maintient par derrière les parements avec des *garnissages*, formés de veloutes ou de fascines. Il peut enfin arriver que la stratification présente à la fois des bancs solides et d'autres inconsistants. C'est alors cette partie seulement que l'on recouvre de garnissages, tandis que les autres restent nues derrière les cadres.



Fig. 168. Cadre normal.



Fig. 169. Cadre ordinaire.

250 — Le cadre *normal* est un trapèze équilatère (fig. 168) formé de quatre pièces, à savoir : le *chapeau*, les *montants* et la *semelle*.

Cette forme a l'avantage, tout à la fois, de procurer de la hauteur suivant l'axe, pour faciliter le passage du corps de l'homme et du cheval, qui n'ont pas besoin de beaucoup de largeur; et, en même temps, de donner de la largeur dans la partie basse pour les véhicules, qui ne nécessitent pas une grande hauteur. De plus, en restreignant la longueur du chapeau, on en diminue la portée, ce qui améliore ses conditions de résistance. Enfin, en écartant les piédroits à la base, on s'oppose à leur rentrée en dedans provoquée par les poussées latérales, qui auraient bientôt culbuté les côtés d'un rectangle en les chassant au pied.



Fig. 170. Cadre déjeté.

La semelle est formée d'un demi-rondin posé à plat sur le sol. On ménage à ses deux extrémités les embases des montants. Ces derniers y reposent au moyen d'une section pratiquée à la scie. On dispose le gros bout en haut, afin qu'il présente plus de matière pour le délardement de la gorge de loup, et résiste mieux à cet affaiblissement. On place le chapeau sur les montants, que l'on force, à l'aide d'une pince et de la masse, à s'écarter jusqu'à ce que les deux parties de l'assemblage s'emboîtent l'une dans l'autre.



Fig. 171.
Cadre d'un seul montant.

251 — *Cadres simplifiés.* — A partir du cadre normal, on rencontre des simplifications successives, quand les conditions de soutènement le permettent.

Parfois le chapeau disparaît et l'on a un *cadre triangulaire.* Cette combinai-

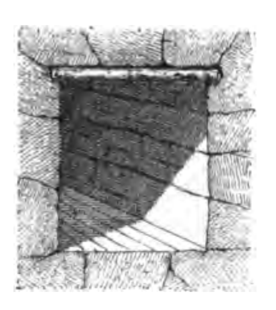


Fig. 172. Chapeau unique.

son présente la propriété, qui n'appartient qu'à elle, d'être géométriquement indéformable; le triangle étant l'unique polygone qui soit déterminé par la seule connaissance de ses côtés. Il faudra, pour que la section puisse se modifier, que les bois se brisent, tandis qu'il leur suffit, avec toutes les autres formes, de jouer autour de leurs assemblages.

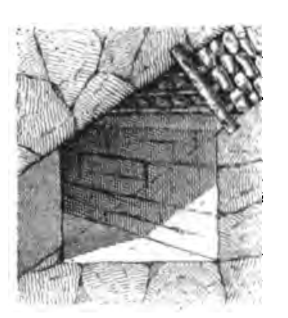


Fig. 173. Chapeau déversé.

Mais, en revanche, le triangle équilatéral, qui est parmi les triangles isopérimètres le plus grand en surface que l'on puisse former, c'est-à-dire le plus avantageux, à dépense égale de bois, est en même temps, parmi les polygones réguliers, celui qui a la plus petite section, à égalité de contour.

En outre, la forme triangulaire est très mal disposée au point de vue de l'utilisation de la surface. Aussi doit-on s'étonner de la faveur que trouve encore quelquefois ce type très défectueux.

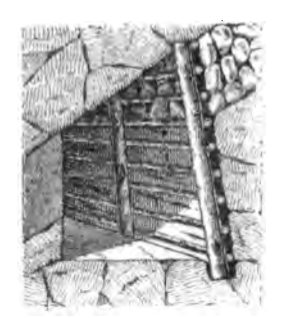


Fig. 174. Montant déversé.

252 — La suppression la plus fréquente est celle de la semelle (fig. 169). On obtient par là ce que nous appellerons le *cadre ordinaire*, car il se rencontre beaucoup plus fréquemment que tous les autres.

Ce cadre peut également prendre une position déjetée (fig. 170), lorsque l'inclinaison du gîte détermine des poussées qui ne sont plus symétriques par rapport à l'axe de la galerie.

D'autres fois, le cadre perdra en outre un montant (fig. 171), si l'une des parois présente une solidité suffisante pour en tenir lieu.



Fig. 175.
Cadre étrésillonné par le haut.

Quand les deux piédroits de la galerie remplissent à la fois cette condition, le second montant disparaît à son tour, et il ne reste plus qu'un simple chapeau (fig. 172).

Cette pièce pourra du reste se trouver déjetée par le pendage du gisement (fig. 173).

En forçant peu à peu par la pensée cette inclinaison, on passe à des dispositions telles que celle de la figure 174, où la pièce unique, plus rapprochée de la verticale que de l'horizontale, doit être considérée plutôt comme un cadre réduit à un de ses montants.



Fig. 176. Cadre étrésillonné par le bas.

Dans une galerie exceptionnellement large, on voit quelquefois cette pièce se détacher de la paroi et venir soutenir le milieu du plafond laissé sans revêtement, à l'état de butte comme pour les tailles.

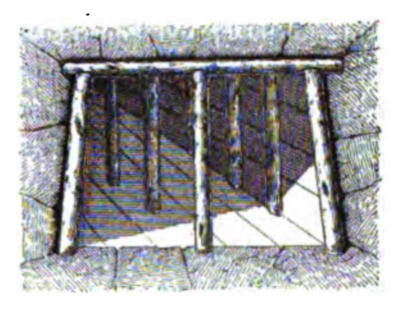


Fig. 177. Cadre étrésillonné par le milieu.

253 — *Cadres complexes.* — Inversement, il existe des cadres plus compliqués que le cadre normal.

Lorsque la galerie est particulièrement élevée, on entretoise les montants près du faîte (fig. 175) au moyen d'un *tendard*, pour s'opposer à leur flexion par les poussées latérales. Si l'on garnit cette séparation d'un galandage continu, elle fournira au besoin un carnet d'aérage pour le retour d'air.

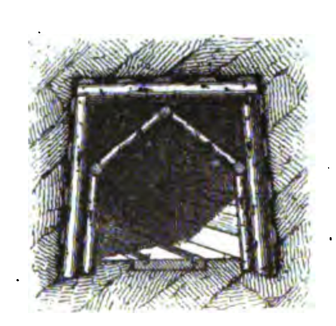


Fig. 178. Longuerinage.

On peut de même étrésillonner les montants près du pied (fig. 176),

et se ménager ainsi sous le plancher de roulage un caniveau pour l'écoulement des eaux.

Lorsque la galerie est exceptionnellement large (fig. 177), on soulage la portée du chapeau, en supportant son milieu sur une butte centrale, suivant l'axe de symétrie du cadre.

254 — On désigne sous le nom de *boisage armé* ou *longuerinage* (fig. 178) un système plus complexe encore, constitué de la manière suivante [1]. Le point critique de la fatigue du chapeau, c'est-à-dire son milieu, se trouve soutenu sur un court renfort, que deux contrefiches arc-boutent contre les points critiques des montants, de manière à en refouler la flexion. L'effort ainsi reporté obliquement sur ces points, s'y décompose en une force horizontale, tendant à équilibrer la poussée latérale du terrain, et une composante verticale, que l'on reporte dans le sol à l'aide d'une jambe de force. On réalise d'ailleurs la solidarité des divers cadres, au moyen de longuerines qui réunissent ensemble les points successifs d'assemblage des montants, des contrefiches, et des jambes de force.

Ce type de boisage paraît prolonger la durée de l'ouvrage dans un rapport considérable, jusqu'au triple et même davantage, en n'augmentant le prix de revient que d'un cinquième environ.

255 — M. Daburon a proposé un système spécial [2] destiné au cas d'un mouvement presque irrésistible.

Il fait remarquer qu'en raison de la grande inégalité que présente le bois, suivant qu'on le fait travailler debout ou tranversalement, le cadre est mal équilibré pour ces fortes pressions. Le chapeau se fatigue beaucoup plus que les montants et il est écrasé avant eux. Quand ceux-ci arrivent ensuite eux-mêmes à céder, il ne reste plus aucun soutien et tout s'écroule. Il serait, au contraire, désirable de laisser descendre doucement le plafond tout d'une pièce, au lieu de permettre, par la rupture du chapeau, des chutes

(1) Chansselle, *Bull. min.*, 2e, III, 709.
(2) *CRM*, 1880, 60. — *Bull. min.*, 2e, IX, 873.

de pierres, qui pourront donner lieu à une propagation indéfinie de l'éboulement en hauteur.

D'après ces vues, M. Daburon commence par renforcer la partie supérieure, en arc-boutant le chapeau sur les montants, comme dans le cas précédent, au moyen de contrefiches placées dans les angles. Puis il affaiblit, au contraire, le montant à sa base en forme de sifflet, de manière que cette pointe s'écrase contre la sole à la demande de la charge, en permettant ainsi un affaissement progressif, qui n'entraîne pas comme corollaire inévitable la dislocation complète du cadre.

256 — Le prix de revient, pour un cadre ordinaire, se décompose en général de la manière suivante. La pose revient à 1 fr. 00 ou 1 fr. 50. Il y entre de 3 à 5 francs de bois. S'il s'y ajoute un garnissage, la quantité afférente à chaque cadre en élèvera le prix de 1 ou 2 francs, suivant que ce revêtement sera plus ou moins développé et les cadres plus ou moins espacés.

Avec un garnissage complet, et un espacement de trois cadres pour deux mètres, le boisage du mètre courant pourra ressortir à 10 francs environ.

257 — *Voûtes en bois.* — Dans certains cas exceptionnels, le cadre se complique au point de devenir méconnaissable. Il ne forme plus alors, à proprement parler, que l'arceau d'une voûte en bois.

Dans un premier système [1], qui a été introduit vers 1845 à Hallstadt (Salzkammergut), l'arceau forme un polygone d'un grand nombre de côtés très courts, que l'on peut assimiler à un profil courbe de forme ovoïde (fig. 179 et 180). La dépense par mètre courant est de 37 fr. 25 de bois, et 37 fr. 75 de main-d'œuvre. Cet ouvrage est ordinairement ruiné au bout de trois ou quatre ans.

Dans un autre dispositif (fig. 181 et 182) employé dans la même mine, on assemble des rondins suivant les génératrices du cylindre

[1] Keller, *Annales*, 6e, II, 21. — Ramsauer, *Annales de l'École des mines* de Vordernberg, 3 *bis*, 132.

de la galerie, en ayant soin de faire chevaucher leurs longueurs, de manière que toutes les extrémités ne se trouvent pas dans la même section droite, afin de mieux solidariser les diverses parties. Ce mode exige par mètre courant 37 fr. 25 de bois, et 24 fr. 05 de main-d'œuvre. Il est donc un peu plus économique que le précédent. Il est en même temps plus solide, et peut durer une dizaine d'années. Mais il tend lui-même à disparaître devant l'emploi du muraillement, qui est à la fois plus durable et moins cher.

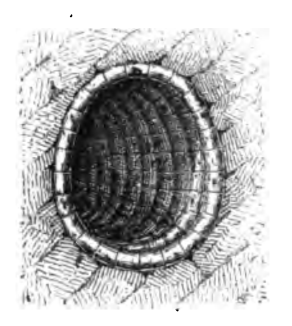



Fig. 179 et 180. Voûte en bois, rondins en travers (coupes transversale et longitudinale).

258 — A Mariemont (Hainaut), on a employé pour des passées difficiles un appareil en briques de bois, extrêmement coûteux mais très solide. Il est formé de voussoirs qui présentent $0^m,20$ à l'intrados, $0^m,30$ à l'extrados et $0^m,40$ suivant les génératrices du cylindre. Ils sont goudronnés deux fois. Des cales longitudinales, traversant de part en part quelques-unes de ces briques, établissent la solidarité des arceaux contigus. On dispose, en outre, de distance en distance quelques cintres en fer, assemblés à la voûte au moyen de vis à bois.

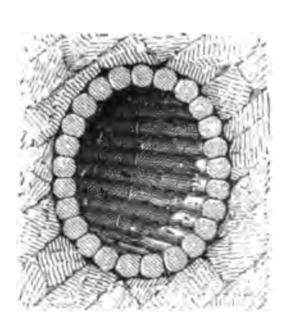



Fig. 181 et 182. Voûte en bois, rondins en long (coupes transversale et longitudinale).

§ 4

BOISAGE DES PUITS

259 — Les puits sont des organes d'une importance capitale, tant pour le fonctionnement de la mine, que pour le salut de la population souterraine. On ne doit donc rien épargner pour leur consolidation. On emploie pour leur revêtement des bois de choix, plus coûteux, mais en revanche plus durables, que ceux des cadres de galeries. De plus, cette augmentation du prix coûtant est récupérée en partie par la diminution des réparations, particulièrement nuisibles dans les puits, où elles entravent les services de la manière la plus fâcheuse. Lorsqu'elles vont jusqu'à entraîner un chômage, les pertes prennent de suite une importance considérable.

Les puits se boisent par cadres comme les galeries. La section est nécessairement polygonale. La plupart du temps c'est un rectangle, étrésillonné par des arcs-boutants parallèles au petit côté quand l'autre prend beaucoup de longueur (fig. 183, 185 et 186). Ces entretoises sont alors garnies de galandages qui servent à diviser le puits en compartiments rectangulaires pour l'établissement des divers services.

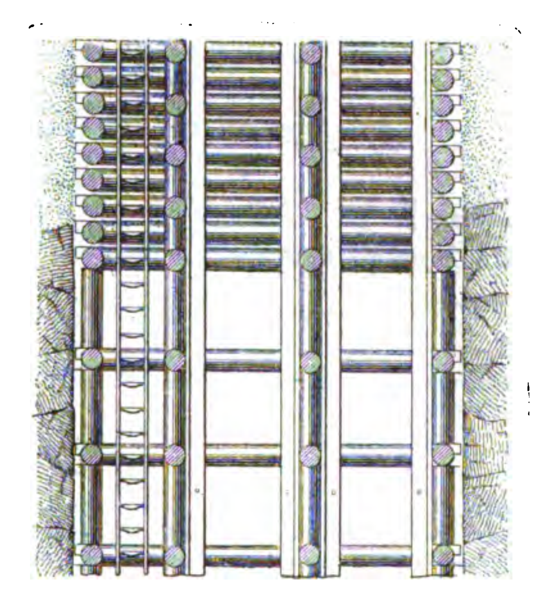


Fig. 183. Cuvelage en bois (coupe verticale).

D'autres fois la section est un polygone régulier, d'un assez grand nombre de côtés pour qu'elle se rapproche suffisamment de la

forme circulaire, au moins seize, et parfois jusqu'à vingt-deux. Cet ouvrage présente une certaine analogie avec les douelles d'une cuve, d'où le nom de *cuvelage* qu'il porte ordinairement [1].

Les cadres sont jointifs, si la poussée l'exige; plus ou moins

[1] Le cuvelage prend une importance décisive dans les milieux aquifères. L'équarrissage à donner aux pièces peut alors se calculer avec précision, en fonction de la charge hydrostatique H que chacune d'elles est appelée à supporter. Cette hauteur peut être connue directement pendant le fonçage. Il suffit pour cela de laisser l'eau prendre librement son niveau à l'intérieur du puits, sauf à le dénoyer ensuite avec les pompes d'avaleresse. Nous ajouterons à cette première donnée, le rayon ρ du cercle inscrit dans œuvre, et le nombre n des côtés du polygone régulier.

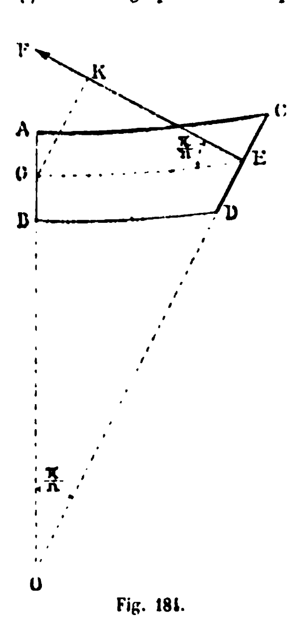


Fig. 184.

Chacun des voussoirs se courbe symétriquement dans sa partie médiane, sous la pression hydrostatique ϖH qu'elle supporte par unité de surface. On peut, d'après cela, en s'attachant uniquement à l'une de ses moitiés, l'envisager comme une pièce encastrée dans le plan de symétrie (fig. 184), et sollicitée à la fois par cette pression latérale dans sa concavité et, en outre, par une réaction F normale au joint et exercée par le voussoir adjacent.

Pour déterminer en premier lieu cette force F, exprimons l'équilibre du demi-voussoir par une équation de projections sur le rayon OA. Les forces élastiques développées dans l'encastrement AB disparaissent d'elles-mêmes, et il reste :

$$F \operatorname{Sin} \frac{\pi}{n} = \varpi H b (\rho + a) \operatorname{tang} \frac{\pi}{n},$$

en désignant par a l'équarrissage inconnu AB, et par b la hauteur verticale de la pièce. Il vient donc :

$$F = \frac{\varpi H b (\rho + a)}{\cos \frac{\pi}{n}}.$$

Quant à la fatigue maximum R par unité de surface, développée dans l'encastrement au point extrême B, elle est fournie, d'après la théorie de la résistance des matériaux pour le cas des forces obliques, par la formule :

$$R = \frac{X}{\Omega} + \frac{VM}{I},$$

en appelant : 1° en ce qui concerne la section : Ω la surface, V son ordonnée maximum

espacés, dans les terrains plus solides. Pour maintenir alors les distances, on insère dans les angles des montants verticaux reliés aux cadres par des goussets.

GB, I son moment d'inertie par rapport à l'axe neutre projeté au centre de gravité G de cette section ; ce qui donne dans le cas du rectangle :

$$\Omega = ab, \quad V = \frac{b}{2}, \quad I = \frac{ba^3}{12}, \quad \frac{V}{I} = \frac{6}{ba^2};$$

2° en ce qui concerne les forces appliquées extérieurement : X la somme de leurs projections sur l'axe longitudinal GE, et M la somme de leurs moments par rapport à l'axe neutre G. Dans la valeur de X, les pressions hydrostatiques disparaissent, puisqu'elles sont normales à l'axe de projection, et il reste seulement :

$$X = -F \operatorname{Cos}\frac{\pi}{n},$$
$$= -\varpi Hb(\rho + a).$$

Pour le moment M, on a

$$M = F.\,GK - \varpi Hb(\rho + a)\ \mathrm{tang}\frac{\pi}{n}.\ \frac{AC}{2}$$

$$= \frac{\varpi Hb(\rho + a)}{\cos\frac{\pi}{n}}.\ GE \sin\frac{\pi}{n} - \varpi Hb(\rho + a)\ \mathrm{tang}\frac{\pi}{n}.\frac{(\rho + a)}{2}\,\mathrm{tang}\frac{\pi}{n},$$

$$= \varpi Hb(\rho + a)\,\mathrm{tang}\frac{\pi}{n}\left[\left(\rho + \frac{a}{2}\right)\mathrm{tang}\frac{\pi}{n} - \frac{\rho + a}{2}\,\mathrm{tang}\frac{\pi}{n}\right],$$

$$= \frac{1}{2}\varpi Hb\rho(\rho + a)\,\mathrm{tang}^2\frac{\pi}{n}.$$

Si nous remettons ces diverses valeurs dans l'expression de R, il vient :

$$R = -\frac{1}{ab}.\ \varpi Hb\ (\rho + a) + \frac{6}{ba^2}.\ \frac{1}{2}\varpi Hb\rho\ (\rho + a)\ \mathrm{tang}^2\frac{\pi}{n}.$$

La hauteur b disparaît d'elle-même, comme il était aisé de le prévoir, et il reste simplement :

$$3\ \mathrm{tang}^2\frac{\pi}{n}.\ \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 + \left(3\ \mathrm{tang}^2\frac{\pi}{n} - 1\right)\frac{\rho}{a} - \left(1 + \frac{R}{\varpi H}\right) = 0$$

Cette équation du second degré, ayant son dernier terme négatif, fournira des racines réelles et de signes contraires. On aura donc toujours, sans ambiguïté, une valeur unique, réelle et positive, pour le rapport de l'épaisseur cherchée a au rayon donné ρ du puits.

On admet que le chêne ordinaire peut travailler à 0^{kg},8 et le sapin à 0^{kg},6 par millimètre carré. Mais pour des pièces de choix, telles que celles que l'on emploie exclusivement pour ces ouvrages essentiels, on peut augmenter ces valeurs de moitié, en les portant à 1^{kg},2 et à 0^{kg},9. Dans ces conditions, $\frac{R}{\varpi}$ devient égal à 1200 ou à 900 pour ces deux espèces de bois.

On rend en outre toutes les parties solidaires, en établissant, dans les angles du rectangle, des longuerines qui règnent du haut en bas du puits. On a soin aussi de réunir consécutivement les cadres, au moyen d'écoins que l'on y assujettit à l'aide de forts crampons.

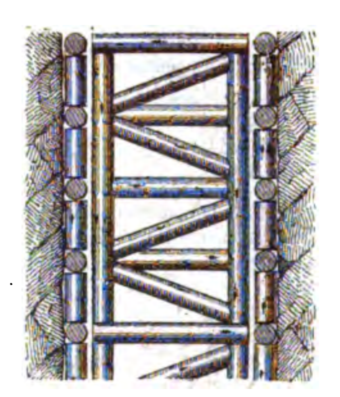


Fig. 185. Cuvelage en bois (coupe verticale).

On soulage le poids de l'ensemble, en établissant de distance en distance des *cadres porteurs*, appelés aussi *cadres à oreilles*, *rouets*, *roues*, ou *roulisses*, dont les diverses pièces, plus longues que les côtés du polygone de section droite, pénètrent dans le sein de la roche, où elles sont logées dans des potelles pratiquées à cet effet. De tels cadres ne pourraient descendre sans se cisailler préalablement.

On se contente parfois, plus simplement, de cadres *colletés au ferme*, c'est-à-dire mis en serrage avec des coins, de manière à déterminer contre le massif un effort normal N assez grand, pour que le frottement fN qui en serait la conséquence, si le glissement devait se produire, soit suffisant pour équilibrer le poids de la portion de cuvelage qui repose sur ce cadre.

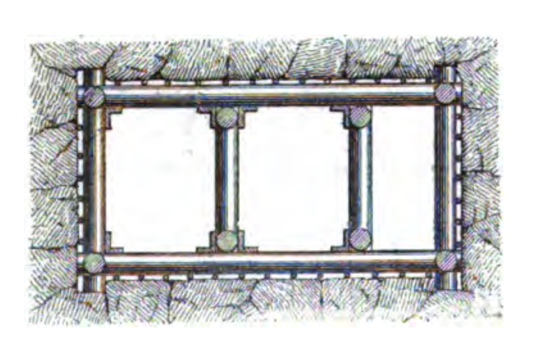


Fig. 186. Cuvelage en bois (coupe horizontale).

Certains cadres colletés prennent une importance exceptionnelle sous le nom de *trousses picotées*. Mais leur description et leur pose se rattachent directement à la méthode du fonçage des avaleresses dans les terrains aquifères, dont nous nous occuperons plus loin (n° 317).

260 — Le muraillement est souvent précédé de la pose de boisages provisoires, que l'on établit d'après les mêmes données, mais avec une simplicité plus sommaire.

Je citerai en particulier un mode assez original qui a été employé dnas le bassin de la Ruhr. Il permet d'éviter l'obligation de boiser d'une manière polygonale (seule forme compatible avec les boisages ordinaires), une section destinée à recevoir de la maçonnerie, suivant un profil courbe. On emploie à cet effet quatre arcs de cercle de 90°, formés chacun de huit planches de sapin superposées, courbées et maintenues par un tendeur, que l'on dispose suivant la corde de ce quadrant (fig. 187). Quand ces arcs sont mis en place, on desserre les tendeurs. L'élasticité écarte alors le bois, qui fait ressort et s'applique contre les parois.

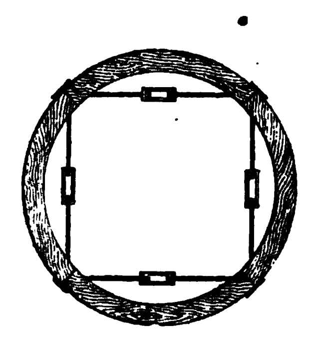


Fig. 187. Cuvelage provisoire.

En ce qui concerne le prix de revient du boisage des puits, rien n'est plus variable, suivant les conditions d'établissement. Pour fixer les idées par un seul exemple, on peut admettre un chiffre de 80 francs par mètre courant, pour un puits rectangulaire de 4 mètres sur $1^m,30$ divisé en deux compartiments.

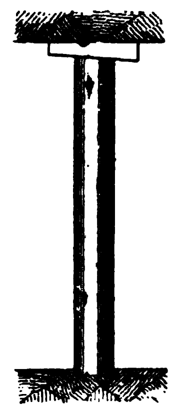
§ 5

BOISAGE DES TAILLES ET DES POINTS SINGULIERS

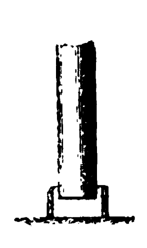
261 — *Boisage des tailles.* — Le mode de boisage des tailles est extrêmement simple. On y soutient le plafond à l'aide de pièces placées debout, et qui portent les noms de *buttes, étançons, chandelles, piquets* (fig. 188). Lorsqu'elles sont très clairsemées, on les place sans aucun ordre systématique. Pour déterminer leur emplacement, le mineur interroge, d'après le son du marteau, la solidité

du faîte. Mais souvent les buttes sont posées en lignes parallèles, et également espacées, de manière à former un quinconce.

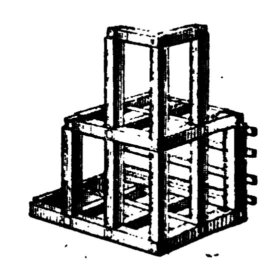
Ces buttes, ordinairement restreintes à une longueur de 2 mètres environ, atteignent et dépassent d'autres fois 5 mètres. Dans le filon vertical de pyrite aurifère de Morro Velho (Minas-Geraës, Brésil), on voit un immense espace vide de 100 mètres sur 200 mètres, boisé à l'aide d'une forêt de poutres de 8 à 10 mètres de longueur sur 0m,40 d'équarrissage (1). Ces cas extrêmes ne sont pas à imiter. La longueur des buttes reste limitée par la condition que l'on puisse leur faire franchir les coudes des galeries, et les manœuvrer dans les chantiers.


Fig. 188. Butte.

Pour poser une butte, on la dresse contre le plafond, et on la chasse avec la tête de la hache pour l'amener à la position perpendiculaire à la stratification. Un écoin sert à la mettre en serrage au faîte. On a pratiqué à la sole une petite potelle pour assujettir le pied de la pièce. D'autres fois, celui-ci repose sur un bout de planche ou sur un tas de menu maintenu par un cercle de fer. Il suffit alors, pour déboiser, d'ouvrir ce cercle qui est fermé par un boulon. Le menu s'échappe par la pression, la butte se desserre et tombe (fig. 189).


Fig. 189. Butte.

262 — Pour faciliter le montageet le démontage du soutènement des tailles, les Anglais font un grand usage de piles rectangulaires de cadres de bois de champ, superposés avec une base de menu. On les appelle *choks* ou *cogs*.


Fig. 190. Boisage parallélépipédique.

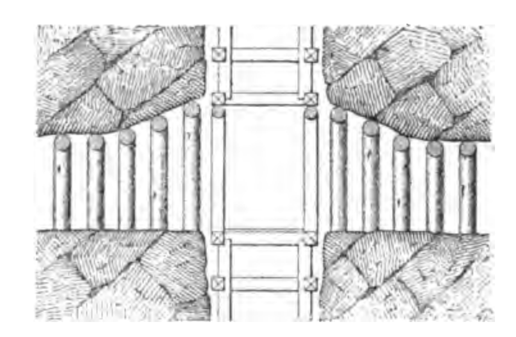
Dans les tailles du Comstock (Nevada), on maintient des es-

(1) De Bovet, *Annales*, 8e, III, 133.

paces vides considérables à l'aide de réseaux parallélépipédiques en bois de 0m,30 d'équarrissage (fig. 190). On leur a dû parfois des incendies redoutables, dont l'un a fait plus de cinquante victimes. La dépense occasionnée par ce système est du reste considérable.

Ajoutons enfin, qu'avec des plafonds inconsistants, le boisage des tailles admet des combinaisons de garnissages plus ou moins analogues à ceux que nous avons décrits pour les galeries.

263 — *Boisage des points singuliers.* — Dans les *croisements* de galeries rectangulaires, on place aux abords du carré d'intersection quatre cadres de tête, sur lesquels se posera un garnissage pour le plafond.



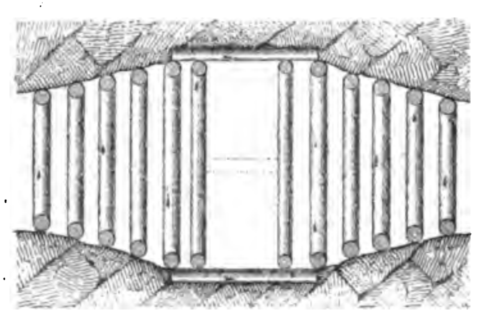


Fig. 191 et 192.
Accrochage boisé (coupes verticale et horizontale).

Pour un *accrochage*, c'est-à-dire la rencontre d'une galerie et d'un puits (fig. 191 et 192), on évase progressivement la largeur de la galerie, jusqu'à la raccorder avec celle du puits. On relève également son plafond, de manière à établir un pan coupé entre le faîte horizontal et la paroi du puits. Cette portion est boisée avec des cadres de dimensions croissantes. Quant à la section du puits, elle reste constante; mais ses cadres doivent être interrompus devant l'ouverture unique, ou les deux ouvertures de la recette. On se contente de revêtir les deux autres faces, de rondins assujettis par

deux longuerines qui règnent dans les angles, sur toute la hauteur de cet intervalle. Ces pièces sont prises dans deux cadres porteurs, que l'on établit au pied et au sommet de l'ouvrage.

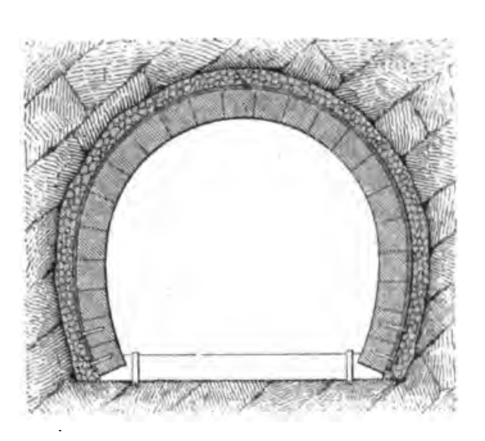


Fig. 193. Accrochage voûté en bois.

On emploie aussi pour cet usage les voûtes en bois (fig. 193). Cet appareil est coûteux, mais on ne doit pas regarder à cet inconvénient pour une étendue aussi limitée. Il est très solide, car le bois résiste bien mieux à l'écrasement, sous un petit volume, qu'à la flexion sur des longueurs importantes. On évitera ainsi des réparations, qui seraient extrêmement fâcheuses, sur le point où se trouve concentrée la plus grande activité de la mine.

Une *écurie* (fig. 194) se boise comme une galerie à grande section. Elle doit être bien aérée, avec un plancher en pente pour préserver la litière de l'humidité.

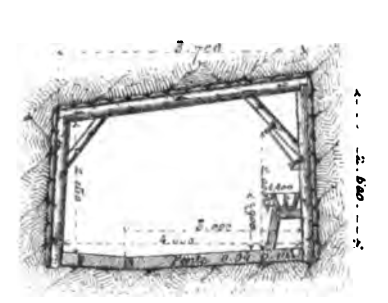


Fig. 194. Écurie boisée.

Une *chambre de manège* ou de *baritel* (fig. 195) se boise en carré ou en hexagone, à l'aide de fermes méridiennes de charpente reliées à l'axe de rotation. Le cheval y décrit une trajectoire circulaire inscrite dans ce périmètre.

Les *cloches* qui viennent à se produire dans le plafond des espaces vides, sont ordinairement remblayées, et ce soin doit être pris d'urgence dans les mines à grisou. Mais, dans d'autres cas, on les a quelquefois boisées à l'aide d'une sorte de trémie renversée, formée

de cadres horizontaux de dimensions décroissantes, dont chacun

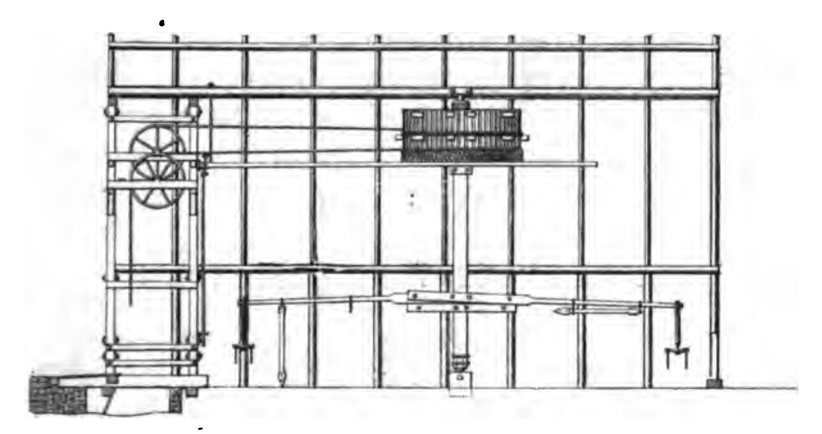


Fig. 105. Baritel.

reporte la pression sur celui qui lui est subordonné, avec un garnissage complet pour le cadre supérieur.

CHAPITRE XI

MURAILLEMENT ET BLINDAGE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LE MURAILLEMENT

264 — Les revêtements souterrains se font, soit en moellons bruts, soit en briques. Ces dernières sont des parallélépipèdes rectangles, dont les côtés présentent les rapports du simple au double et au quadruple, pour faciliter leur juxtaposition dans tous les sens. Ils sont ordinairement de 6, de 12 et de 24 centimètres. En supposant que les briques soient séparées par un joint de mortier de deux centimètres, le nombre de celles qui entreront dans un mètre cube sera :

$$\frac{1}{(0{,}06 + 0{,}01)\ (0{,}12 + 0{,}01)\ (0{,}24 + 0{,}01)} = 440,$$

ce qui oblige à compter dans les achats sur 500 briques, en nombre rond, pour tenir compte des incuits et des déchets. Le poids d'une brique étant d'environ 3 kilogrammes, le mètre cube, si l'on tient compte du mortier, pèse 1700 à 1800 kilogrammes.

Les briques doivent être assez cuites pour ne pas se déliter dans l'humidité, sans atteindre toutefois la température de la vitrification, car alors les surfaces ne font plus prise avec le mortier et le retrait leur fait perdre leur calibre. On doit éviter pour cette

fabrication les argiles mélangées de parties calcaires. Celles-ci donnent par la cuisson de la chaux caustique, qui se délite dans l'humidité et fait éclater la brique par sa dilatation, ou se délaye en laissant des vides qui affaiblissent la résistance. Le prix, très variable, peut s'abaisser à 10 francs le mille, avec des briques cuites en tas, sans fours spéciaux, de même qu'il peut s'élever à 20 et même 25 francs, dans des conditions moins économiques.

265 — Pour le mortier, on emploie souvent dans les mines la chaux hydraulique, afin qu'il puisse faire prise dans l'eau au lieu de s'y délayer. Il doit être gâché serré, avec peu d'eau. En vue d'éviter que celle-ci soit pompée par des matériaux poreux, on a soin de les mouiller au moment de s'en servir. Il entre au plus, en volume, un cinquième de mortier dans la maçonnerie de briques. Les joints doivent être minces, mais bien liaisonnés. On pose les briques à bain flottant de mortier, pour qu'elles s'y fassent leur place sans laisser aucun vide, mais en les comprimant légèrement afin de réduire autant que possible l'épaisseur du joint. La proportion sera plus élevée avec les moellons, qui présentent des surfaces moins régulières.

Le mortier peut revenir à 10 francs le mètre cube. Pour confectionner un mètre cube de maçonnerie, il faut, en général, une demi-journée d'un maçon et de son aide. Le prix revient à 11 ou 12 francs pour les moellons, 15 francs pour les briques, fournitures et main-d'œuvre comprises. En raison d'une telle différence, on réserve souvent les briques pour les parties qui exigent une certaine précision, comme les voûtes, en se contentant des moellons pour les piédroits.

266 — On fait certaines maçonneries en *pierres sèches*, en supprimant le mortier. Ce système n'est autre chose qu'un remblai très soigné. Il présente sur le muraillement proprement dit une économie évidente, et il fonctionne convenablement quand il s'agit, non d'établissements durables, mais de soutènements provisoires menacés de poussées presque irrésistibles.

On donne de la solidité à l'ensemble en disposant en *parpaing*, c'est-à-dire perpendiculairement au parement, les pierres les plus longues, ou encore de vieux bois.

Ce genre de revêtements s'emploie souvent pour le remblayage, en dressant un mur le long de l'espace à réserver, et jetant à la pelle par derrière des matériaux informes. S'il s'agit de ménager une galerie dans la masse des remblais, on pourrait être tenté d'utiliser pour cela un parement de roche, afin de n'avoir à dresser qu'un seul mur au lieu de deux. Mais cette combinaison, qui serait rationnelle avec une véritable maçonnerie, doit être écartée pour les constructions en pierres sèches, sujettes à un tassement sensible. Les deux massifs, s'ils sont de même nature, s'affaisseront ensemble, et seront alors suivis par le toit, sans inconvénient trop notable. Au contraire, la roche ne pouvant céder, pendant que le mur qui lui est parallèle diminue de hauteur, le plafond se brisera nettement en raison de ce porte-à-faux.

267 — Les constructions souterraines se rattachent à trois types essentiels : le *massif*, la *voûte*, le *système hélïcoidal*.

Le premier procède par joints horizontaux, ou plutôt normaux à la direction présumée des efforts, qui peut être oblique. D'autres fois, pour obtenir plus d'union, on emploie à dessein des matériaux irréguliers, enchevêtrés dans tous les sens, au lieu de ménager des plans de joints.

Les voûtes s'établissent avec simplicité, et sans recourir, en général, aux savantes théories auxquelles ces appareils ont donné lieu. Dans le cas actuel, en effet, on ne posséderait, pour les appliquer, presque aucune donnée sur les forces réellement appliquées. On procède à cet égard à l'aide d'analogies et d'hypothèses, en les forçant de manière à opérer, autant que possible, à coup sûr.

On doit apporter un soin particulier à ne laisser aucun vide derrière l'extrados. Loin de soulager ainsi la voûte, en effet, on l'exposerait à éclater sur ces points, sous la pression transmise par d'autres parties. De plus, le terrain finirait toujours, un jour ou l'autre, par venir au contact, et ce serait alors vraisemblablement par un choc, de nature à compromettre l'existence de l'appareil. On

coince la voûte contre le rocher avec des blocs de pierre, ou bien encore on bourre du menu ou du béton dans tous les vides. On a soin de retirer soigneusement les bois, qui pourriraient à la longue, et produiraient alors ces vides que l'on veut éviter.

On pose les voussoirs sur des couchis de bois, supportés eux-mêmes par des cintres en fer à talon, que l'on accroche aux piédroits. Quant à la clef de la voûte, elle ne peut être introduite verticalement, comme dans les édifices extérieurs, pour lesquels le dessus reste libre. Ici la roche s'y oppose. On clave en reculant et introduisant la clef, non plus de haut en bas, comme un coin dans une fente, mais horizontalement, comme un tiroir dans ses coulisses. On commence par les briques de l'extrados, en finissant par celles de l'intrados. Cette fin d'ouvrage s'exécute avec du mortier à prise rapide, et même du ciment quand il est nécessaire. On adopte souvent une épaisseur de $0^{m},50$, c'est-à-dire deux longueurs de briques. Les piédroits peuvent aller jusqu'au double, et on les renforce de $0^{m},20$ dans la sole.

Le système hélicoïdal a été imaginé pour le revêtement des puits en briques. Au lieu de procéder par anneaux horizontaux, dont chacun peut exiger, pour se fermer, que l'on brise une brique, ce qui nuit à la netteté de l'ouvrage, on dispose une file non interrompue de briques suivant une seule et même hélice, qui a pour pas l'épaisseur d'une brique augmentée du joint de mortier. Si la maçonnerie doit reposer sur une roulisse en charpente, on commence par y pratiquer en creux un hélicoïde de vis à filet carré, présentant lui-même ce pas, et dans lequel s'emboîtera la construction.

§ 2

MURAILLEMENT DES GALERIES, DES PUITS, DES POINTS SINGULIERS

268 — *Muraillement des galeries.* — Pour le muraillement des galeries [1] on procède quelquefois par arceaux discontinus, pour

[1] Gatzschmann, *Anleitung zur Grubenmauerung*, Schneeberg, 1831.

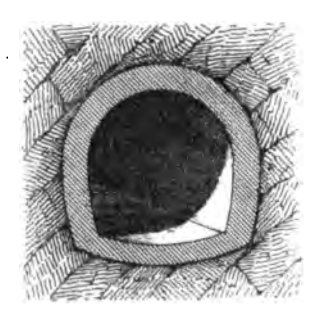


Fig. 195. Galerie en plein cintre avec radier.

économiser la maçonnerie en soutenant le toit à la manière des cadres de charpente. Mais cette solution doit être écartée, à cause des angles rentrants, qui échappent à la ventilation et peuvent former des nids de grisou. L'économie est faible d'ailleurs, et cette discontinuité gênante pour la circulation.

La section *normale* d'une galerie muraillée (fig. 196) comprend d'abord deux *piédroits* appareillés en joints horizontaux. On leur donne une hauteur égale à la moitié de leur intervalle, et on les recouvre d'une *voûte en plein cintre.* Un *radier,* en forme de voûte renversée très surbaissée, les réunit par le pied pour résister à la poussée de la sole.

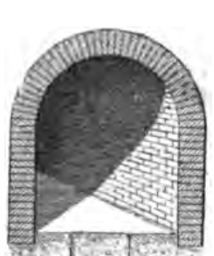


Fig. 197. Muraillement en plein cintre.

Dans la section que nous appellerons *ordinaire,* comme étant la plus répandue, on supprime le radier, en se bornant aux piédroits et au plein cintre (fig. 197). Cette forme, de même que le trapèze pour le boisage (n° 250), utilise très convenablement l'aire de la section, en vue de la circulation de l'homme et des véhicules.

Fig. 198. Voûte sans piédroits.

Si le terrain présente une solidité suffisante, on supprime les piédroits (fig. 198), et l'on se contente d'une voûte en plein cintre ou surbaissée, suivant les cas, qui prend ses naissances dans la roche même. De tels ouvrages ont été parfois appareillés sur des dimensions remarquables. A Almaden (Espagne), on réunit dans une même exploitation deux des trois filons qui composent le gîte, en enlevant l'entre-deux, d'une épaisseur insuffisante, et jetant, du mur de l'un

des filons au toit de l'autre, des voûtes surbaissées qui atteignent jusqu'à 22 mètres de portée.

Lorsque la stratification présente un certain pendage, la voûte se trouve déjetée sur le côté (fig. 199).



Fig. 199. Voûte déversée.

Dans les terrains aquifères, l'égalité de la transmission de la pression dans tous les sens prime l'influence, ordinairement prépondérante, de la pesanteur, et conduit à préférer la continuité géométrique du profil, en effaçant la distinction des piédroits, de la voûte et du radier. On cintre alors la section en *ellipse complète* (fig. 200), ou en *courbe à plusieurs centres*, composée d'arcs de cercles qui se raccordent par leurs tangentes. On rencontre également des ellipses incomplètes (fig. 201).

269 — Un muraillement de galerie ordinaire revient à 40 ou 50 francs par mètre courant. C'est donc plus de trois

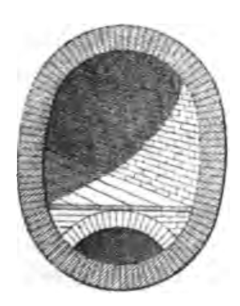


Fig. 200. Muraillement en ellipse complète.

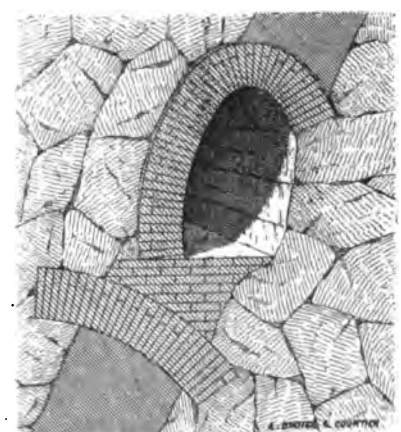


Fig. 201. Ellipse incomplète.

ou quatre fois la dépense du boisage. En revanche, la durée est considérablement augmentée. Il y a lieu d'ailleurs de tenir compte de ce que la maçonnerie, dans un terrain qui a cessé de

donner d'une manière notable, n'entraîne que des réparations sans importance, tandis que celles du boisage croissent plus que proportionnellement au temps. Mais si l'on commettait la faute de murailler trop tôt dans une masse en mouvement, au lieu d'y établir un boisage, qui plie et cède en conservant son intégrité, la maçonnerie, dénuée d'élasticité, se fendrait et perdrait sa solidité, en donnant par les fissures des venues d'eau très difficiles à aveugler.

270 — *Muraillement des puits.* — Le revêtement des puits se fait souvent en briques. Très exceptionnellement, on emploie la pierre de taille [1]; assez souvent, le moellon piqué. On a aussi essayé des anneaux alternatifs de moellons et de briques [2]. On attendait de cette combinaison un certain degré de souplesse, qui manque totalement à la maçonnerie et que le bois possède à un degré marqué; qualité plus nécessaire encore dans les puits que pour les galeries, en raison de l'importance de l'ouvrage et des difficultés de la réparation. On a employé également des moellons artificiels de béton [3], et enfin un béton monolithe coulé d'une manière continue, pour assurer la prise de toutes ses parties, derrière un moule cylindrique que l'on remonte progressivement [4].

On a enregistré les résultats suivants, relativement à la résistance et au prix de revient de ces divers matériaux :

MATÉRIAUX	RÉSISTANCE À L'ÉCRASEMENT par centimètre carré	PRIX DU MÈTRE CUBE
	kilogrammes	francs
Moellons de grès houiller de Saint-Étienne.	272	45
Moellons de mortier de ciment	120	40
Moellons de béton Coignet	94	38
Briques-moellons	38	20

[1] *Bull. min.*, 2e, VI, 12. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, I, 386.
[2] *Bull. min.*, 2e, III, 723, Chansselle.
[3] *Bull. min.*, 2e, III, 723, Chansselle.
[4] *Bull. min.*, 2e, III.

271 — Au lieu de laisser la maçonnerie se charger elle-même du haut en bas, on cherche à soulager les diverses travées du poids de celles qui les surmontent, en le reportant, au moins en partie, dans la roche.

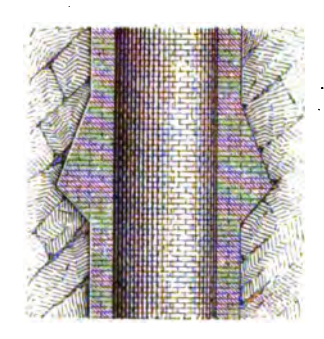


Fig. 202. Renflement d'un cuvelage.

Un premier moyen consiste, pour cela, dans l'emploi de roulisses, formées de sommiers d'un fort équarrissage, qui pénètrent dans des potelles, et supportent la travée de muraillement comprise entre elles et la roulisse immédiatement supérieure.

On peut également renforcer en forme de double tronc de cône l'épaisseur de la maçonnerie (fig. 202). Avec ce dispositif, il faudrait, pour permettre au cuvelage de descendre, cisailler toute la surface de raccordement de ce renflement avec le cylindre, et cette surface peut devenir aussi grande que l'on voudra.

272 — L'épaisseur d'un revêtement cylindrique est au moins de $0^m,25$ à $0^m,30$ avec des moellons, et de $0^m,30$ à $0^m,50$ pour les briques [1]. Lorsque la section est circulaire, la maçonnerie est disposée suivant le mode hélicoïdal (n° 267). On y ménage quelque fois une gouttière en hélice ou *gargouille*



Fig. 203. Gargouille.

(1) On peut déterminer l'épaisseur E à donner à un revêtement de diamètre intérieur D, immergé dans un milieu aquifère, dont la hauteur piézométrique au-dessus de cette travée sera désignée par H.

Séparons pour cela par la pensée, au moyen d'un plan méridien, les deux moitiés d'un tronçon d'un mètre de hauteur. L'un d'eux supporte sur sa surface courbe un ensemble d'efforts normaux, qui ont pour somme de projections sur la perpendiculaire au plan méridien, le produit de la projection $D + 2E$ de cette surface, par la pression ϖH qu'elle subit par unité de superficie. D'autre part, $2H$ représente la surface d'appui des deux moitiés de la maçonnerie l'une contre l'autre, et, par suite, $2ER$ l'effort qu'elles sont capables de sup-

(fig. 203) refouillée dans l'épaisseur, pour recueillir, avant qu'ils se résolvent en gouttes, les suintements qui suivent la surface par capillarité. Des bâches, disposées de distance en distance, reçoivent cette eau, ce qui diminue d'autant la pluie dans le puits.

Si la section appartient au type rectangulaire, on adopte un profil formé de voûtes très surbaissées, qui ont pour cordes les côtés du rectangle, et qui prennent leurs naissances les unes sur les autres. Quand ce rectangle est très allongé, on peut, comme aux puits de Brückenberg (Saxe), l'étrésillonner par des refends en maçonnerie (fig. 204).

Il est arrivé à Brassac qu'un fonçage a débouché dans de vieux

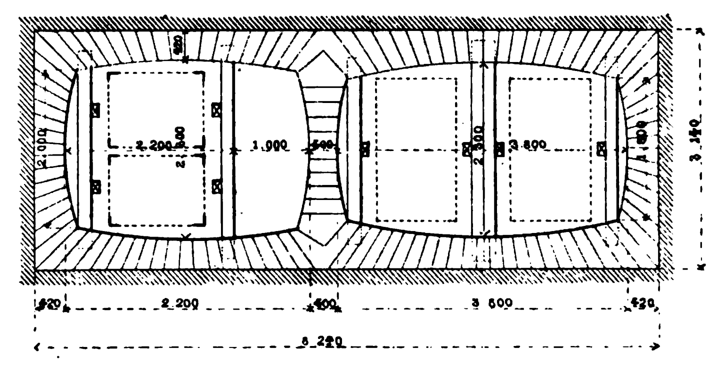


Fig. 204. Puits n° 3 de Heinitz (bassin de la Sarre).

travaux, et précisément sur leur limite; de telle sorte qu'une partie de la section circulaire se trouvait pratiquée dans le solide, tandis que l'autre restait ouverte au milieu d'une masse sans consistance. Dans ces conditions, l'emploi des anneaux horizon-

porter, si R désigne le coefficient de fatigue admissible par mètre carré, pour la nature de matériaux que l'on emploie. On posera donc l'équation :

$$\varpi H (D + 2E) = 2ER,$$

d'où l'on tire :

$$E = \frac{\varpi HD}{2(R - \varpi H)}.$$

On admet pratiquement pour R environ 30 0/0 des coefficients de résistance à la rupture, mentionnés dans le tableau précédent (n° 270).

taux devenait impossible. Ils se seraient, en raison des tassements, inévitablement cisaillés, à l'aplomb de la surface de séparation. On a tourné la difficulté en formant le cuvelage d'anneaux obliques de maçonnerie, en forme d'arcs d'ellipse, prenant leurs naissances sur la roche solide, et opposant les reins de leurs voûtes à la pression des masses incohérentes.

Un revêtement de maçonnerie peut coûter de 15 à 20 francs le mètre carré. Le prix du mètre courant est bien plus variable avec les dimensions, et peut aller de 100 à 300 francs environ. La disproportion avec la dépense de boisage est moins accusée que pour les galeries, elle n'est guère que du double, ce qui tient à ce que l'on emploie pour les puits des bois de choix.

273 — *Muraillement des points singuliers.* — La *rencontre de galeries* rectangulaires de même hauteur donne lieu à l'un ou l'autre des deux appareils connus sous le nom de voûte d'arêtes, ou de voûte en arc-de-cloître. En l'absence du grisou l'on peut, pour éviter cette complication (fig. 205 et 206), se borner à surexhausser l'une des galeries, d'une hauteur égale à celle du cintre. C'est alors en plein piédroit que la seconde la rencontre. Il suffit, d'après cela, de terminer celle-ci par des têtes ordinaires.

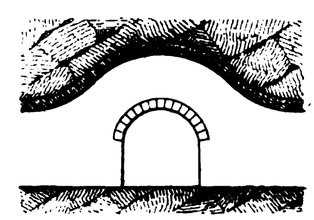



Fig. 205 et 206. Surexhaussement d'un passage voûté. (coupes transversale et longitudinale).

Pour un *accrochage*, on se contente d'appareiller suivant l'intersection des deux cylindres. Quand l'extraction se fait par bennes, on dispose, au-dessus du pas-de-cuffat, une trompe de raccordement (fig. 207) entre la galerie et le puits, pour faciliter l'enlèvement du cuffat.

Une *écurie* (fig. 208), une *chambre de machine à vapeur*, présentent ordinairement l'aspect d'un tronçon, relativement court, de tunnel à grande section, dont nous nous occuperons bientôt. Ces

ouvrages doivent être établis avec un soin particulier, pour éviter les suintements. Le sol de l'écurie sera formé d'un bon béton, avec une pente de $0^{m},04$ par mètre, suffisante pour l'écoulement des urines, mais assez faible pour que le poids de l'animal ne soit pas reporté sur les membres postérieurs. Une très bonne ventilation y est nécessaire, ainsi qu'un bassin en pente pour laver à l'eau pure les pieds du cheval, quand il rentre du travail, imprégné d'eaux acides de nature à attaquer la corne.

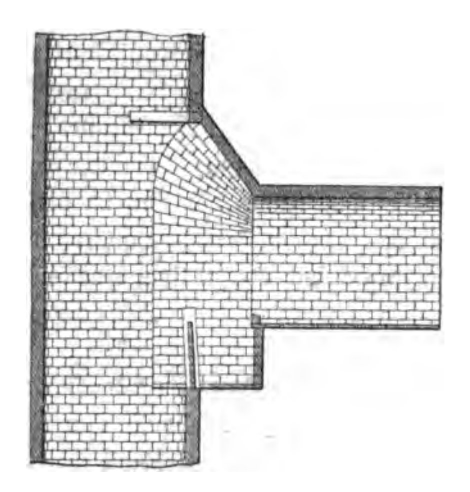


Fig. 207. Accrochage muraillé.

Un *barilet* peut être muraillé en forme de tour cylindrique, surmontée d'une voûte sphérique. Ces organes tendent du reste à disparaître.

Une *chambre de roue hydraulique* forme une excavation étroite et élevée. On lui donne une forme lenticulaire, et l'on appareille les grandes faces en forme de calottes sphériques très surbaissées, afin qu'elles présentent plus de solidité. On peut aussi, pour plus de simplicité, donner à la maçonnerie une forme légèrement cylindrique. Si la roche se tient bien, on se bornera à murailler la rencontre de l'ouvrage avec le filon dans lequel il est établi (fig. 209 et 210).

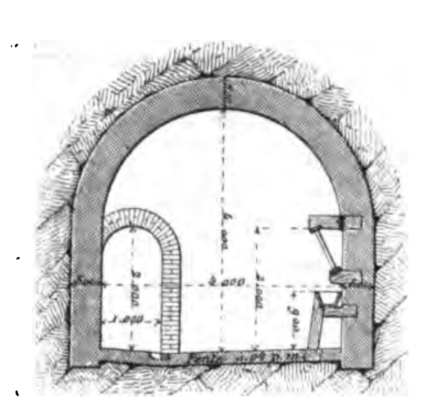
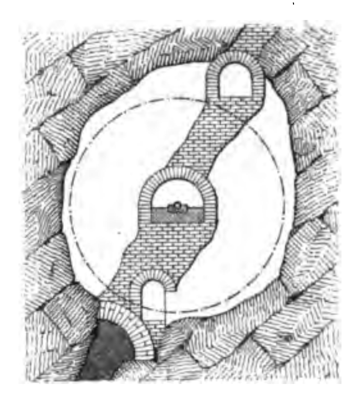


Fig. 208. Écurie muraillée.

274 — Il n'y a pas lieu de s'appesantir ici sur le ***muraillement des tailles.*** Il se réduit en général, en ce qui concerne la maçonnerie proprement dite, à quelques rares piliers pour des points importants; à moins qu'il ne devienne, au contraire, la base fondamentale du système de soutènement, comme dans l'exemple, à peu près unique, d'Almaden, dont nous décrirons avec détail la méthode d'exploitation (n° 504).



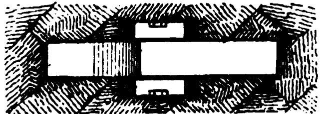


Fig. 209 et 210.
Chambre de roue hydraulique (coupes verticale et horizontale).

En revanche, le mode de soutènement en pierres sèches joue un grand rôle dans les tailles, mais il s'y rattache directement à la question du remblayage qui fera l'objet d'un chapitre spécial.

§ 3

BLINDAGE

275 — *Généralités sur le blindage.* — L'emploi des métaux pour les revêtements souterrains (¹) se recommande par des avantages caractérisés. La matière première est à peu près inusable. Si on la retire, en abandonnant un ouvrage, les matériaux gardent encore leur valeur de vieux fer, lorsqu'ils ne sont plus immédiatement applicables dans des travaux analogues. La tôle peut prendre des profils courbes, auxquels le boisage se refuse et la brique ne s'adapte que par approximation. La fonte peut également, par le moulage, prendre toutes les formes, et des épaisseurs

(¹) Chansselle, revêtements en fer (*Bull. min.*, 2ᵉ, III, 738). — Soutènements en fer de Seraing (*Rev. univ. d. m. et. u.*, 2ᵉ, IV, 315).

arbitraires. Sa grande résistance spécifique permet d'économiser beaucoup mieux la section. Enfin le danger d'incendie se trouve absolument écarté.

On reproche, en revanche, aux blindages leur complète raideur. En raison de la souplesse des cuvelages en bois, on a vu certains puits se déjeter parfois de tout leur diamètre sans se rompre. Sous de pareils efforts, un revêtement métallique se serait brisé nettement. Pour cette raison, certaines compagnies minières, par défiance contre les colonnes métalliques, s'en tiennent, en toute circonstance, aux anciennes méthodes de fonçage des avaleresses avec cuvelage en bois, malgré les énormes dépenses qui en sont parfois la conséquence. Il faut pourtant reconnaître que de réels progrès ont été réalisés, en ce qui concerne la réparation de ces immenses tubes, quand ils subissent une fêlure. On y remédie alors, soit à l'aide de panneaux plaqués à l'intérieur, soit en y insérant une virole d'un diamètre moindre, et matant du plomb entre les deux enveloppes.



Fig. 211. Chapeaux en rails.

276 — *Blindage des galeries.* — Le mode le plus simple de l'emploi du fer pour le soutènement des galeries consiste à l'associer au bois, en posant sur deux rondins un chapeau formé d'un tronçon de vieux rail (fig. 211). Cette combinaison est très rationnelle, car le bois y travaille debout, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de sa résistance, et le fer se substitue à lui pour résister à la pression transversale du plafond. De plus, on diminue par là, avec le calibre du chapeau, l'importance des anfractuosités de la couronne, qui forme la région la plus dangereuse au point de vue des agglomérations de grisou. Le prix du mètre courant est ressorti

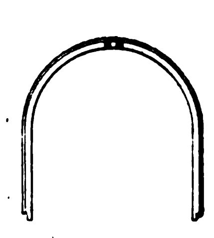


Fig. 212. Galerie blindée. (Sarrebrück.)

au Creusot à 47 francs [1]. Il s'y abaisse même, dans la pratique courante, à 34 francs, si l'on tient compte de ce que les chapeaux peuvent resservir plusieurs fois, lorsque les montants sont ruinés. Certaines galeries qui jouaient beaucoup, dans ce gîte redressé et rempli de remblais défavorables, exigeant 50 francs environ d'entretien annuel, n'ont plus occasionné, avec le nouveau mode, qu'une dépense de 10 francs par an.

On peut également, comme à Ferfay (Pas-de-Calais), associer le fer au muraillement en posant de vieux rails sur des montants en maçonnerie (fig. 220).

277 — On emploie, d'un autre côté, des revêtements complètement métalliques. A Bois-du-Luc (Hainaut), les cadres sont formés de deux colonnes creuses en fonte, surmontées d'un chapeau de vieux rail. C'est un dispositif mixte, analogue aux deux précédents, et dans lequel chaque cadre revient à 36 francs.

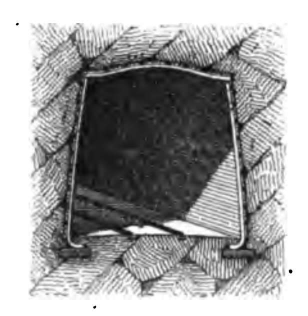


Fig. 213. Galerie blindée. (Commentry.)

On obtient plus de simplicité en formant les cintres uniquement de fer. On fabrique à Hayange, pour les mines de Sarrebrück, des cintres formés de deux fers à T (fig. 212), auxquels la nervure communique de la résistance. La partie droite dessine le montant, le quart de cercle qui la termine sert à former le cintre, quand on réunit les deux pièces au faîte à l'aide d'un manchon d'assemblage.



Fig. 214. Galerie blindée. (Steierdorf.)

En terminant une partie droite

[1] De Biauzat, *Bull. min.*, 2e, III, 563 et 569.

très courte par deux quarts de cercle, on a obtenu de même des sections complètes.

On a disposé à Commentry (Allier), dans les parties exposées aux incendies, des cadres (fig. 213) analogues à ceux que nous venons de décrire, revenant chacun à 13 fr. 50 (1).

A Steierdorf (Banat), on a, dans des terrains qui ne permettaient pas le déboisage, réalisé une disposition plus complexe (fig. 214), en inscrivant un cintre métallique complet dans un boisage provisoire, et remblayant l'intervalle (2). Le mètre courant est ressorti, avec cette combinaison compliquée, à 68 fr. 50.

A Mariemont (centre belge), on emploie, dans des passées difficiles (3), des arceaux complètement circulaires, formés de rails courbés en arcs de 120° et réunis à l'aide de manchons d'assemblage. Sur ces cintres s'appuient des rails de mine rectilignes, dessinant les génératrices du cylindre. Quelques-uns de ces couchis sont disposés en forme d'entretoises, destinées à conserver les distances des cintres. Cet ouvrage revient à 100 francs le mètre courant.

Dans la galerie préparatoire du tunnel de la Manche (4), à laquelle le mode de perforation par la tarière Beaumont (n° 224) impose une section rigoureusement circulaire, on cintre toutes les parties aquifères au moyen d'anneaux métalliques de $0^m,30$, divisés en cinq segments et consolidés par des nervures. Des boulons, passés dans ces dernières, réunissent les divers segments de chaque anneau entre eux et avec l'anneau précédent. Le boulonnage tend à écarter les panneaux et, par suite, à les serrer contre le terrain. Pour aveugler les joints, on a eu soin d'appliquer préalablement, entre la roche et le bord des segments, des bandes longitudinales de tôle. Un mastic au minium achève d'assurer l'étanchéité de l'assemblage.

278 — *Blindage des puits.* — Les puits sont revêtus par

(1) *CRM*, 1878, 119.
(2) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXVI, 137.
(3) *CRM*, juillet 1875, 7 et 9.
(4) Daubrée, *Annales*, 8e, I, 593.

anneaux successifs. Cette question se rattache, dans une certaine mesure, au tubage des trous de sonde; néanmoins la disproportion des diamètres apporte, en ce qui concerne l'application, les plus grandes différences. On peut, pour le blindage des puits, employer deux modes distincts : les viroles pleines ou les panneaux ([1]).

Les anneaux pleins ont une hauteur qui varie en général de $1^m,50$ à $2^m,00$ ([2]). Les collets doivent être dressés avec une grande rigueur, dans un plan bien perpendiculaire à l'axe. Les joints se font au plomb; un petit grain d'orge circulaire est pratiqué dans les collets, et l'on y place une baguette de plomb qui s'écrase sous la pression. On a fait aussi à Trazegnies (Mariemont) des joints en caoutchouc. Il est permis de concevoir quelques inquiétudes pour la durée de cette matière organique. Cependant il est juste de reconnaître qu'elle n'a, dans ces conditions, à redouter ni frottements ni élévation de température.

Les viroles sont essayées au double de la pression qu'elles sont présumées devoir subir, de la part des niveaux aquifères qu'elles sont destinées à tenir en respect. Cette épreuve ne pouvant guère se faire qu'à l'usine même, où se trouve installée une cuve propre à développer de dehors en dedans la pression hydraulique, on a soin de s'assurer, par le son du marteau, que le transport n'a déterminé dans le métal aucune altération.

([1]) Parfois même des fers en U (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXVI, 135). On se sert aussi de cercles en fer comme soutènement provisoire des puits (Chansselle, *Bull. min.* 2e, III, 730).

([2]) L'épaisseur des cuvelages métalliques s'évalue par la formule :

$$E = \alpha + \beta HD.$$

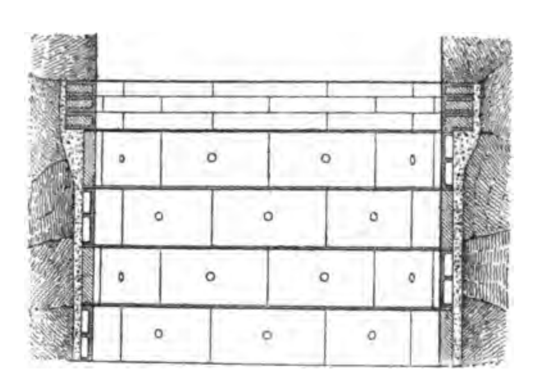
Elle n'est autre que celle que nous avons obtenue ci-dessus pour une question identique (n° 272, note), en négligeant dans le dénominateur ϖH devant R, qui est beaucoup plus important dans le cas des métaux, et avec adjonction arbitraire d'une constante α, pour ne pas tomber dans des épaisseurs illusoires, si, pour de faibles diamètres, la pression vient à décroître indéfiniment. A la vérité, l'on rencontre une certaine variabilité dans les valeurs adoptées pour ces constantes. Je citerai par exemple les suivantes :

Puits Chaudron (Evrard, *Traité d'exploitation*, I, 285)	$\alpha = 0,020$	$\beta = 0,000100$
Avaleresses (Evrard, *Traité d'exploitation*, I, 260)	0,009	0,000065
Panneaux (Burat, *Cours d'exploitation*, 172; Demanet, *Cours d'exploitation*. I, 22)	0,013	0,000042

Ces diverses valeurs supposent E, D et H exprimés *en mètres*.

Les grandes viroles sont transportées sur des trucs spéciaux aussi peu élevés que possible pour permettre le passage sous les ponts de chemin de fer. Un diamètre exceptionnel a même exigé, pour une mine du bassin de Newcastle, l'installation d'une fonderie spéciale à l'orifice du puits.

279 — Le système précédent ne peut évidemment s'employer que depuis le bas jusqu'en haut du puits. On ne saurait l'appliquer au-dessous d'une partie déjà tubée, à moins de se résigner gratuitement à une diminution du diamètre. Dans ces conditions, on a recours à la segmentation. Rien n'empêche d'ailleurs d'appliquer ce dernier procédé sur toute la hauteur d'un puits.



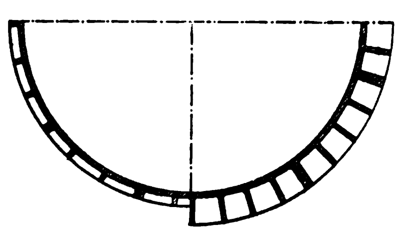


Fig. 215 et 216. Cuvelage par panneaux (coupes verticale et horizontale).

A cet effet, on divise l'anneau en un certain nombre de panneaux (fig. 215 et 216). Leur juxtaposition exacte ne compléterait pas tout à fait la circonférence. On laisse entre eux un certain jeu, de 1 à 2 centimètres, destiné à être picoté pour réaliser l'étanchéité des joints. Les bords sont renforcés, suivant les génératrices et les arcs de cercle, par une surépaisseur de 0^{m},15 de large.

Le revêtement est double. A l'extérieur, on dispose une première ceinture de panneaux, percés de trous ronds. Ces orifices servent à donner prise aux outils pour manier plus aisément ces pièces. En outre, ils laissent tamiser l'eau, en évitant de la tendre en

pression derrière une surface pleine, ce qui rendrait les manœuvres impraticables. Quand cette première couronne a été mise en place, on aveugle toutes les veines liquides, au moyen de chevilles de bois enfoncées à force et recépées au niveau de la fonte.

C'est alors que l'on construit à l'intérieur le revêtement définitif, formé de panneaux pleins. On a soin de croiser ses joints avec ceux de la première ceinture, à la fois suivant les génératrices et les parallèles du cylindre de révolution.

Les panneaux sont à ergots, afin que l'on puisse revêtir l'intérieur, d'une chemise de bois, formée de douelles que l'on glisse entre ces ergots. Cette cuirasse a pour but de protéger le métal contre les chocs qui peuvent se produire dans le service.

Lorsqu'un anneau est complet, on le soulève avec les grues, pour intercaler entre lui et le précédent une rondelle de plomb, sur laquelle on le redescend, de manière que l'écrasement de ce métal par la pression fournisse un joint bien étanche.

On établit enfin à l'extrados un garnissage de béton, coulé entre la première ceinture et la roche. On obtient par là une union plus intime, en évitant les chocs que le terrain, s'il arrivait à jouer dans le vide, pourrait exercer contre la fonte, en venant au contact.

280 — Les revêtements métalliques ont été parfois appliqués pour consolider par l'intérieur un cuvelage de fonte ou de bois [1].

Le tableau suivant [2] présente une série d'exemples de cuvelages en bois, en pierre et en métal, permettant de faire la comparaison de ces trois modes de revêtement.

[1] Barré, Nouveau cuvelage de Carling, *Annales*, 6e, XVII, 367. — *CRM*, 1878, 114; 1879, 49. — *Bull. min.*, 1re, XIV; 2e, VI.

[2] Dressé à l'aide des documents insérés par M. Pernolet dans l'*Agenda* Dunod pour les mines, 1882, 72.

DÉSIGNATION			DIAMÈTRE EN MÈTRES		PROFONDEUR EN MÈTRES		PIÈCES DU CUVELAGE			
REVÊTEMENT	PUITS	RÉGION	FORÉ	UTILE	HAUTEUR CUVELÉE	BASE DU CUVELAGE	NOMBRE	HAUTEUR EN MÈTRES	ÉPAISSEUR EN MÈTRES minima	ÉPAISSEUR EN MÈTRES maxima
Boisage . . .	Puits neuf (Lens)	Pas-de-Calais	6,00	4,92	100,00	100,00	20	0,25 à 0,60	0,180	0,280
	Falk	Moselle	4,70	4,20	53,10	53,50	20	»	0,120	0,240
	Carling	Moselle	5,00	4,08	146,92	153,20	18	»	»	»
	Thiers	Nord	4,75	4,00	65,00	65,00	16	»	0,120	0,240
	Marles n° 2	Pas-de-Calais	4,54	4,00	73,50	73,50	16	»	0,150	0,150
	Freyming	Moselle	»	4,00	148,00	175,00	20	»	0,160	0,180
Muraillement.	Westphalia	Ruhr	7,00	5,00	82,35	82,35	»	»	1,000	2,500
Blindage. . .	Hetton	Newcastle	5,40	4,85	53,20	159,00	»	»	0,040	0,040
	Horloz	Liège	4,50	4,30	10,00	12,30	1	1,25	0,032	0,035
	Louvière n° 2	Belgique	4,50	4,25	12,00	13,50	1	1,00	0,030	0,035
	Providence (Fiennes)	Pas-de-Calais	5,00	4,08	11,00	187,00	12	0,40	0,030	0,030
	Jane	Sunderland	4,28	3,90	133,50	155,44	8	0,40 à 0,60	0,019	0,030
	Puits neuf (Liévin)	Pas-de-Calais	4,30	3,65	74,05	88,95	1	1,50	0,032	0,044
	Lhopital	Moselle	4,20	3,40	144,00	159,28	1	1,50	0,028	0,060
	Barillon	Ruhr	3,40	3,10	49,31	51,54	10	0,70	0,013	0,020

281 — *Blindage des tailles et des points singuliers.* — M. Johnson dé Newcastle a proposé, pour soutenir le plafond des tailles, des buttes métalliques formées de deux parties cylindriques réunies suivant un plan oblique (fig. 217 et 218). Un manchon emboitant cette partie établit leur solidarité. Si, plus tard, on vient à abaisser ce manchon, la pression du toit fait glisser l'une sur l'autre les deux parties suivant le plan qui les sépare, et la butte se démonte d'elle-même. Une chaine réunit les deux portions, pour qu'elles ne s'égarent pas. On transporte alors le système sur quelque autre point, pour l'y dresser de nouveau. Ces buttes ne sauraient guère figurer que dans les districts où le bois est particulièrement cher, et où la mine est une dépendance directe d'usines à fer, afin que les pièces brisées puissent économiquement repasser comme vieilles fontes au moulage.

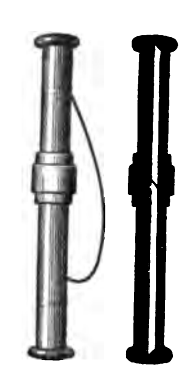


Fig. 217 et 218. Butte métallique (élévation et coupe verticale).

M. Dernoncourt d'Anzin avait également introduit dans le même but un appareil appelé *vis-botte* (fig. 219), qui a aujourd'hui disparu. Il se composait d'une culasse posée sur le sol, et d'une vis, que l'on mettait en serrage contre un plateau appliqué sous le toit, en la tournant dans son écrou.

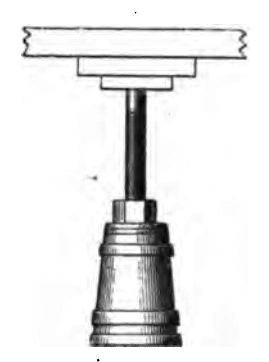


Fig. 219. Vis-botte.

Ces organes sont compliqués, coûteux, encombrants, là où une extrême simplicité est nécessaire et où les buttes sont exposées à être perdues. Il ne semble pas que l'emploi des métaux soit à recommander pour le soutènement des tailles, qui sont un ouvrage essentiellement éphémère. Il en est tout autrement des voies de communication, et particulièrement de celles qui sont appelées à une longue durée.

282 — Quant aux points singuliers, il n'y a pas lieu d'y insister avec détails. La grande facilité que présentent les métaux pour se plier à toutes sortes de formes, rendra facile leur emploi dans les circonstances spéciales qui le motiveront.

On peut citer notamment dans le bassin houiller de Westphalie des recettes entièrement revêtues en fer.

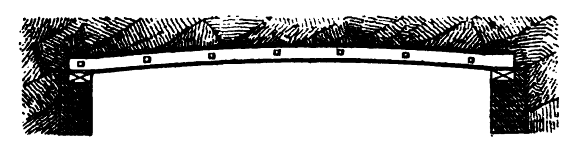


Fig. 220. Soutènement métallique d'un accrochage.

D'autres accrochages (fig. 220) ont été plafonnés au moyen de vieux rails, dont les extrémités sont supportées par des piédroits en maçonnerie. On obtient de cette manière, très aisément, les grandes portées qui sont souvent réclamées par ces ouvrages.

CHAPITRE XII

PERCEMENT DES GALERIES DE MINE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES GALERIES

283 — *Nomenclature des galeries.* — Les galeries de mine peuvent être classées, soit d'après leur emplacement dans le gîte, soit d'après les fonctions qu'elles sont appelées à remplir dans l'aménagement général.

Au point de vue géométrique, on distingue d'abord les galeries tracées suivant l'horizontale du gisement. Elles portent le nom de *galerie de direction*, *galerie d'allongement*, *galerie chassante*, *chassage*, *rue*, *niveau*, *costresse*, *costière*. Ces dénominations supposent du reste pour l'ouvrage une longueur de quelque importance. On emploie, en effet, des galeries de direction, essentiellement courtes, qui forment l'élément normal de certaines méthodes d'exploitation, et auxquelles nous réserverons la dénomination de *recoupe*.

Les galeries tracées horizontalement, mais perpendiculairement à la direction, dans un gîte puissant, sont appelées *traverse*, *cul-de-sac*, *carrément*, *viaille*, *volée*.

Celles qui sont menées suivant la ligne de plus grande pente du gisement sont désignées sous les noms de *montage*, *remonte*, *remontée*, *enlevure*, *descenderie*, *vallée*. Les plus raides prennent la dénomination de *fendue*, *cheminée*, *puits incliné*.

Les galeries tracées dans le plan du gîte suivant une droite

quelconque, autre que la direction ou l'inclinaison, sont appelées *demi-pente, diagonale, voie thierne*.

Viennent enfin les galeries que l'on pratique en dehors du gîte, pour des motifs spéciaux que nous développerons en parlant des méthodes d'exploitation. Elles sont connues sous les divers noms de *galerie au rocher, travers-bancs, bouveau, bowette, bacnure*.

Si l'on envisage, en second lieu, les galeries sous le rapport des services auxquels elles sont destinées, on distinguera d'abord celles qui servent au transport des véhicules, sous le nom de *galerie de roulage, mère-galerie, voie de fond, voie maîtresse*, quand elles sont horizontales; *plan incliné* dans le cas contraire. Viennent ensuite les *galeries de traçage*, qui servent à préparer l'opération ultérieure du dépilage; les *galeries d'aérage*, appelées aussi *voie d'air, chemin d'air, retour d'air, maillage, troussage*; enfin les *galeries de recherche*.

284 — Dans la section transversale d'une galerie, on distingue la *sole*, sur laquelle se place la voie ferrée; les *piédroits* ou parois latérales; le *plafond* ou *faîte*, que l'on appelle aussi le toit, quoiqu'il soit préférable de réserver cette expression pour désigner la roche superposée au minerai, laquelle ne forme pas nécessairement le *ciel* de l'ouvrage.

Une galerie type aura par exemple $1^m,50$ de largeur à la sole et $2^m,00$ de hauteur. Très souvent cependant les dimensions sont plus restreintes; soit qu'on les ait établies par économie sur un moindre module, soit par suite de l'affaissement des bois, sous la charge du terrain.

Si l'aire seule de la section est déterminée *a priori*, comme dans les questions d'aérage, lorsqu'il s'agit de faire passer par seconde un volume donné, sans dépasser une certaine limite de vitesse, il vaut mieux gagner sur la hauteur que sur la largeur; sans exagération, bien entendu. Par là, en effet, on facilite la circulation des hommes et des chevaux, et l'on diminue la portée horizontale des bois.

Certaines galeries présentent une section plus grande que le type

que nous venons de formuler. Cela n'arrive, à la vérité, que rarement dans les mines. C'est, au contraire, le cas normal du tracé des chemins de fer. L'ouvrage prend alors le nom de *tunnel*. Le présent chapitre est réservé aux *galeries de mine*. Nous consacrerons le suivant à l'étude des tunnels.

285 — *Orientation du percement.* — Pour diriger le percement d'une galerie, il faut fournir au mineur sa direction et sa pente, d'après les mesures relevées sur les plans de mine, ou les calculs qui ont servi à asseoir le projet.

Pour donner la direction, on suspend une série de fils à plomb à des clous plantés dans le plafond. Ces fils dessineront le plan vertical de symétrie de la portion déjà percée ; et c'est à partir de ce plan que l'on prendra des mesures transversales, pour dresser exactement la section et parer les piédroits.

Pour obtenir l'alignement, on éclaire de près les fils à plomb, afin de les rendre visibles. L'observateur, placé en arrière, fait déplacer par un aide le fil qu'il s'agit de suspendre à l'avancement, de manière qu'il disparaisse dans le plan de collimation des précédents.

Cette méthode suppose l'existence d'une amorce, que l'on n'ait plus qu'à continuer. On détermine ce premier élément, au point d'attaque, au moyen de la boussole. On peut également employer à cet effet des procédés très délicats. Je citerai comme exemple la marche suivie par M. Geach, pour le tunnel sous-marin de la Severn [1].

Une lunette était installée sur le puits et repérée sur des signaux extérieurs, de manière à pouvoir exécuter un tour complet dans un plan vertical, en visant dans toute l'étendue du diamètre du puits un fil établi à sa base, éclairé à la lumière électrique, et tendu par un poids dans une première travée d'une centaine de mètres, tracée approximativement. En rectifiant ainsi sa situation, M. Geach a pu

[1] Destiné à relier les comtés de Monmouth et de Gloucester sur 3200 mètres de longueur sous-marine, et 7409 mètres en tout, si l'on y comprend les rampes d'accès (*CRM*, 1882, 11).

se procurer un axe rigoureux d'alignement, à l'aide duquel on a ensuite procédé de proche en proche.

286 — Quant à la pente, si elle est notable, on la marquera à l'aide de clous plantés dans la paroi et supportant par l'intermédiaire d'un cordeau le cercle d'inclinaison. A partir de cette ligne, on prend ensuite des mesures verticales pour repérer la sole et le plafond.

Si, au contraire, il ne s'agit que de la pente excessivement faible nécessaire pour l'écoulement des eaux ou pour la facilité du roulage, et qui exige une grande précision dans l'exécution, on construit un niveau à perpendicule, au moyen d'une longue planche formant règle et posée de champ sur la sole. Un bras en potence y est assemblé à angle droit. Il porte à son extrémité le fil du perpendicule, pour lequel on a tracé à la fois le zéro qui représente l'horizontalité, et l'oblique suivant laquelle il doit se tenir, pour que la règle ait l'inclinaison voulue.

287. — Il est utile que l'ingénieur divisionnaire chargé d'un percement dans des parties nouvelles, conserve pour les archives de la mine un journal minutieux des diverses circonstances présentées par le terrain traversé, avant que le revêtement les ait fait disparaître. Rien n'est plus facile, au moyen d'une simple bande, sur laquelle on reproduit les épaisseurs et les inclinaisons que l'on rencontre, en représentant, à l'aide de teintes conventionnelles, les diverses matières.

L'ouvrier doit être surveillé de près. Sans même qu'il y mette de mauvaise volonté, il sera porté à exagérer la pente, pour mieux se débarrasser des eaux. Or cet élément est d'une extrême importance, comme nous le verrons dans les théories du roulage et de l'écoulement. En ce qui concerne la direction, le percement tendra à se dévier du côté de moindre résistance. De même, dans le profil de la section, le piqueur laissera volontiers en forme de congé arrondi les angles vifs, qui sont plus difficiles à refouiller, et cependant sont indispensables pour la pose du boisage.

Quant à l'exécution même du percement, il peut sembler singulier que nous en fassions l'objet d'un chapitre spécial, puisque,

d'une part, nous avons étudié l'abatage, et, d'un autre côté, le revêtement, qui forment les deux parties de la question. Lorsqu'en effet le terrain présentera une consistance suffisante, pour que ces opérations puissent être effectuées d'une manière distincte, et l'une après l'autre, nous n'aurons rien de plus à ajouter. Ce cas est d'ailleurs le plus fréquent dans la pratique des mines. Mais il arrive aussi que des terrains inconsistants, ou aquifères, ne peuvent attendre un seul instant sans soutènement. Les deux opérations doivent alors être confondues au point de n'en faire qu'une. De là des difficultés spéciales, que l'on ne peut surmonter qu'au moyen de méthodes, dont quelques-unes sont très remarquables, et que nous avons maintenant à faire connaître.

§ 2

BOISAGE AU POUSSAGE

288 — *Poussage simple.* — Nous distinguerons trois cas pour la traversée des strates sans cohésion : 1° les terrains *ébouleux*, qui ne peuvent être laissés sans soutien au-dessus du vide, mais qui se tiennent assez convenablement dans les parties verticales et surtout à la sole. On emploie pour eux le *poussage simple* (¹).

2° Les terrains *inconsistants*, qui ne peuvent être abandonnés sans un soutien complet, même dans les parties verticales. On les franchit au moyen du *poussage au bouclier*.

3° Enfin les terrains *coulants* et aquifères, qui, présentant une fluidité comparable à celle de l'eau, ne peuvent être laissés à découvert ni pour un seul instant, ni pour la moindre surface, même à la sole. On en est alors réduit au procédé du *picotage*.

289 — La méthode du poussage simple consiste à disposer entre les chapeaux des cadres et la roche du plafond un revêtement exact

(¹) Bouhy, Creusement des galeries à travers les terrains mouvants (*Annales* des travaux publics de Belgique, VIII, 257).

de palplanches jointives. La difficulté est de les insérer dans cette situation. C'est ce que nous allons expliquer pour une palplanche envisagée isolément, que les figures 221, 222, 223, 224 représentent dans une série de positions successives. Il va sans dire, d'ailleurs, que ce n'est pas après avoir exécuté, pour l'une des palplanches de la travée, toute la série des manœuvres qui vont être expliquées. qu'on les recommencera dans le même ordre pour la palplanche contiguë, en passant ensuite à ses voisines. Au con-

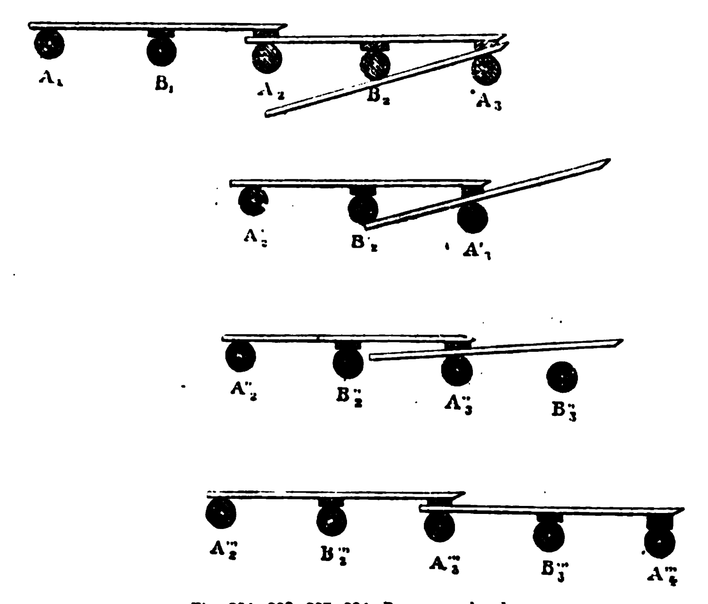


Fig. 221, 222, 223, 224. Poussage simple.

traire, après avoir gagné un peu de terrain avec l'une des palplanches, on répète pour toutes les autres ce qui vient d'être fait pour celle-ci, puis on reprend pour elle, et, consécutivement, pour les autres, la série des opérations.

Nous supposons l'ouvrage en avancement courant, et nous envisageons à part les cinq derniers cadres, qui sont représentés sur la figure 221 uniquement par leurs chapeaux A_1, B_1, A_2, B_2, A_3. On remarquera que ces cadres sont de deux sortes : ceux qui supportent les extrémités des palplanches, et qui sont marqués par

la lettre A, et ceux qui en soutiennent les milieux, désignés par B. Quand les palplanches sont arrivées à leur état définitif, comme en $A_1 A_2$ et en $A'''_2 A'''_3$, elles présentent une légère inclinaison ascendante dans le sens de l'avancement. On le réalise, dans le moment où la pose se termine pour une palplanche, au moyen d'un coin disposé en son milieu entre elle et le chapeau B'''_3 [1], et de deux coins placés à l'extrémité, en A'''_4, à savoir : un *coin* proprement dit au contact de la palplanche, et un *contre-coin* sur le chapeau. Mais ce dernier ne fait là qu'un séjour temporaire, pour maintenir l'extrémité de la palplanche arrivée à destination, pendant qu'on s'occupe de ses voisines. Il est destiné à disparaître dans la pose de la travée suivante, et se trouve alors remplacé par la queue de la palplanche correspondante, comme cela se voit en A_2 et en A'''_3.

C'est précisément par là que commence la pose de la nouvelle travée. On vient d'enlever en A_3 le contre-coin, et de le remplacer par la tête d'une palplanche. Celle-ci est poussée progressivement dans le massif peu résistant du terrain, à l'aide de coups de masse appliqués à l'arrière vers A_2. Au fur et à mesure de cet avancement, qui tend à coincer les matières, on dégage la palplanche, en grattant sous la partie qui se trouve en surplomb en avant de A'_3. On parvient ainsi à la position $B'_2 A'_3$, dans laquelle la palplanche est encore restée sensiblement parallèle à elle-même. A ce moment, on place un nouveau cadre B''_3, destiné à supporter le milieu de la nouvelle travée. Puis, par un léger mouvement en avant, la palplanche bascule et prend la position $A''_2 B''_3$. Immédiatement on place en B''_3, pour la recevoir et assurer son inclinaison, le coin figuré en B'''_3. A partir de ce moment, le poussage recommence et la palplanche arrive progressivement à la situation $A'''_3 B'''_3$. C'est alors que l'on pose un nouveau cadre de tête A'''_4, et qu'on y place le coin et le contre-coin, sur lesquels vient définitivement reposer l'extrémité antérieure de la palplanche.

290. — Lorsque le terrain, au lieu d'être uniformément in-

[1] Parfois on se contente de faire les cadres B, du milieu, un peu plus hauts que ceux A des extrémités.

cohérent, de manière à se prêter au poussage, avec un simple grattage à l'avancement, est parsemé de blocs durs qui arrêtent toute progression des palplanches, il faut excaver en dessous, de manière à faire ébouler cet obstacle dans la galerie, en s'entourant des précautions nécessaires pour ne pas compromettre la solidité de l'ensemble. Si l'on vient à reconnaître que les dimensions du bloc sont trop considérables pour que l'on puisse opérer ainsi, on cherchera à le fragmenter, à l'aide de très petits coups de mine, en ayant soin de ne pas occasionner d'ébranlements généraux.

Le procédé du poussage s'est beaucoup développé en Silésie. On le rencontre en France sur divers points. Certaines passées de Saint-Eloi (Puy-de-Dôme) peuvent être citées pour leur belle exécution. Au Creuzot (Saône-et-Loire), la pose d'un semblable appareil ressort à 35 francs par mètre courant.

Il faut ajouter que le poussage est employé, quoique très rarement pour l'avancement des tailles elles-mêmes, quand la nature du plafond l'exige et que la valeur du minerai le permet.

291. — *Poussage au bouclier.* — Lorsque les parois verticales ne peuvent être abandonnées à elles-mêmes, les piédroits devront, comme le plafond, recevoir un garnissage de palplanches. Au besoin même, si la sole l'exige, on poussera des palplanches sous les semelles, de la même manière que par dessus les chapeaux, et la galerie se trouvera revêtue d'un *coffrage complet* (fig. 225, 226, 227).

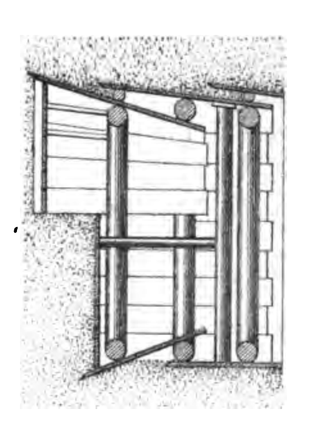


Fig. 225. Poussage au bouclier (coupe verticale en long).

Chaque palplanche présentant, comme nous l'avons vu, une inclinaison sensible sur l'axe de la galerie, il est clair que ce coffrage sera formé de troncs de pyramide évasés vers l'avancement, et emboîtés les uns dans les autres. Or les faces d'un pareil solide sont nécessairement des trapèzes. Au contraire, la forme ordinaire des palplanches est rectan-

gulaire. Elles ne sauraient donc constituer par leur ensemble ce trapèze, si l'on n'adjoignait à ces rectangles, sur les bords, deux palplanches spéciales de forme trapézoïdale, profilées par deux parallèles, une perpendiculaire et une oblique. Ce trapèze chemine, la grande base en avant. Sauf cette particularité, le poussage sur les parois et à la sole se fera comme nous l'avons expliqué tout à l'heure pour le plafond. Il sera toutefois nécessaire que le chapeau et la semelle ne dépassent pas le plan tangent extérieur des montants, afin de permettre le poussage des palplanches latérales.

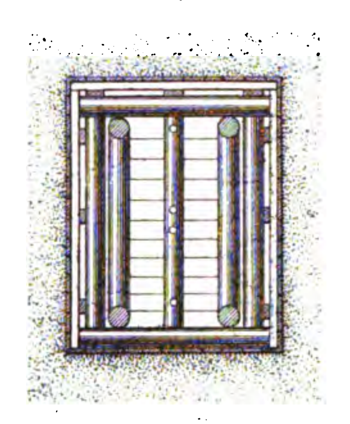


Fig. 226. Poussage au bouclier (coupe verticale en travers).

292. — Mais il reste en outre le front de taille qui, de même que les autres parois, ne peut demeurer sans revêtement. Comme, en même temps, ce plan doit aller constamment en reculant, on le maintient à l'aide d'un garnissage mobile appelé *bouclier*. Cet appareil est formé de madriers horizontaux, appuyés contre les montants du dernier cadre, soit directement, soit à l'aide de contre-fiches mobiles, dont on possède un assortiment de longueurs graduées. On enfonce ces madriers de force, en refoulant le terrain, et en remplaçant successivement leurs arcs-boutants par d'autres, de longueurs croissantes. Quand le massif se refuse décidément à

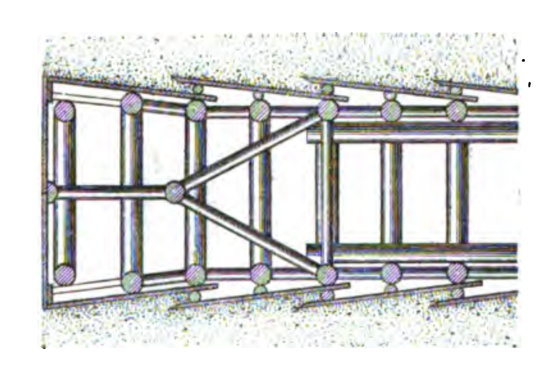


Fig. 227. Poussage au bouclier (coupe horizontale).

l'avancement du bouclier, on soulève un des madriers et on laisse couler le terrain dans la galerie, en grattant au besoin pour l'y aider, mais limitant cette coulée au strict nécessaire, afin de ne pas mettre en mouvement les masses environnantes. Par là, en effet, en étendant inutilement le trouble apporté par le percement, on augmenterait d'autant les pressions. Au fur et à mesure que le bouclier s'avance ainsi, les palplanches le suivent sur les quatre faces du coffrage, par le procédé qui a été expliqué ci-dessus (n° 289). Quant à la séparation qui s'ouvre entre les madriers lorsqu'on les pousse l'un après l'autre, on la calfeutre avec des bouchons de paille, pour empêcher le coulage du terrain.

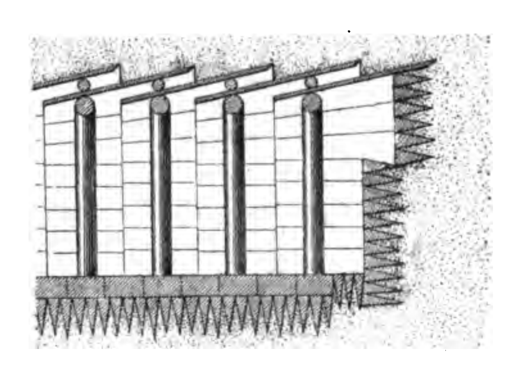


Fig. 228. Picotage (coupe verticale en long).

Dans le cas où la galerie est un peu large, le bouclier aurait trop de portée, et la manœuvre des madriers qui le constituent deviendrait impossible. On le compose alors de deux moitiés indépendantes, en partageant la section en deux travées par un montant vertical. On a ainsi deux demi-boucliers, arc-boutés chacun, d'une part sur ce portant, et, de l'autre, sur l'un des deux montants du dernier cadre. Cette butte elle-même est consolidée par deux jambes de force, qui reportent sur les montants de l'avant-dernier cadre, les poussées qu'elle subit de la part du front de taille.

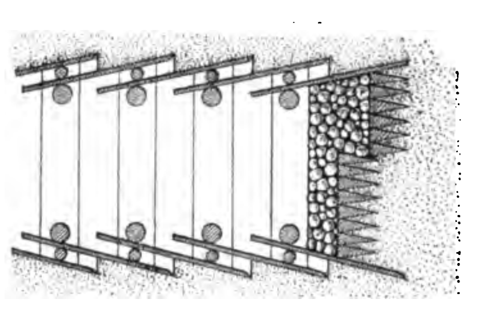


Fig. 229. Picotage (coupe horizontale).

293. — *Picotage.* — Supposons enfin un terrain absolument fluide (fig. 228, 229). On arrive encore à le traverser en lui donnant la consistance qui lui manque, par l'enfoncement de picots de bois dont on garnit tout le front de taille, et que l'on pousse en avant à coups de masse[1]. On peut même s'aider pour cela d'un bélier, formé d'une poutre assez lourde, suspendue horizontalement sur des chaînes. On l'écarte de son aplomb, dans le sens longitudinal, pour qu'elle revienne choquer les picots.

Si le terrain, trop refoulé, refuse de céder davantage, on perce dans cette masse de bois quelques trous de tarière, pour laisser couler les matières boueuses. Quand on juge que le bouclier de picots est assez soulagé, on aveugle ce trou avec une cheville enfoncée à force, et l'on recommence le poussage.

Les figures 228 et 229 montrent également les picots que l'on enfonce dans la sole, pour lui donner de la consistance, au fur et à mesure que l'avancement des picots horizontaux démasque la place d'un rang de picots verticaux. Ils sont ensuite recouverts de fortes semelles rectangulaires jointives.

§ 3

MURAILLEMENT AVEC POUSSAGE

294. — *Poussage et muraillement successifs.* — Quand une certaine longueur a été conquise par le poussage dans des conditions aussi précaires, on ne laisse pas vieillir un pareil ouvrage, s'il est destiné à une certaine durée, sans le murailler entièrement.

Pour cela, on déboise *en reculant*, et retirant chaque palplanche dans le sens inverse de celui de son introduction. Dès que l'on a enlevé une travée de palplanches, ainsi que ses deux cadres, on les remplace par un arceau de maçonnerie, en ayant soin de laisser chevaucher les briques d'un anneau à l'autre, pour les mieux lier ensemble. Si l'on ne peut laisser à nu une telle étendue,

[1] Ce procédé a été imaginé par Victor Simon dans la mine de calamine de Dos, pour le passage sous la Meuse de la galerie d'écoulement d'Engis.

pendant le temps nécessaire pour élever le muraillement, on ne défait le coffrage que pièce par pièce, en arc-boutant ses diverses parties, de manière à permettre cette démolition successive, et l'on comble immédiatement le vide par de la maçonnerie. Si c'est encore trop demander à la solidité du terrain, on hache les pièces sur place, de telle sorte que le déboisage soit rigoureusement suivi par le muraillement sur les moindres espaces.

Quand le terrain est aquifère en même temps qu'inconsistant, on a soin d'attendre qu'il soit égoutté, si l'on peut espérer qu'un certain délai diminue l'affluence des eaux. Puis on élève deux batardeaux en travers de la galerie, pour exécuter entre eux une travée du radier, en établissant une communication de l'un des deux biefs à l'autre, au moyen d'un canal en planches. Il va sans dire que, pour construire la maçonnerie dans ces conditions, l'on emploie le plus souvent du mortier éminemment hydraulique.

295. — *Poussage et muraillement simultanés.* — Si l'on suppose enfin une fluidité telle qu'elle entrave tous les procédés précédents,

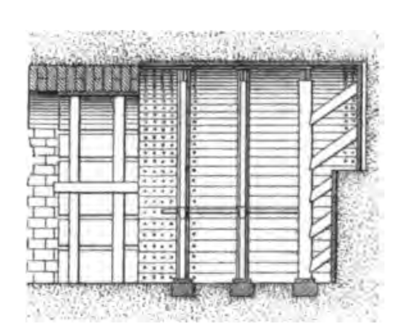


Fig. 230. Poussage avec muraillement (coupe verticale en long).

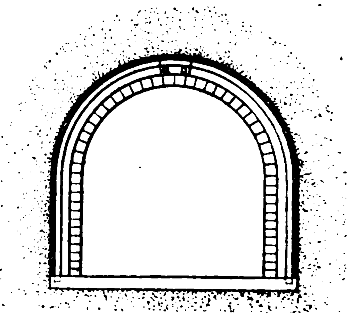


Fig. 231. Poussage avec muraillement (coupe verticale en travers).

il faut renoncer à l'intermédiaire du boisage, en exécutant directement le muraillement, au fur et à mesure de l'avancement.

Un bouclier soutient alors le front de taille (fig. 230, 231) comme ci-dessus (n° 292). Seulement les madriers qui le constituent, ainsi que toutes les autres parties de l'appareil, sont en fer. Un garnis-

sage de palplanches métalliques dessine le prisme de la galerie. Elles sont engagées dans le massif un peu en avant du bouclier, et, en arrière, entre la maçonnerie et le terrain. On constitue par là une chambre de travail, consolidée par trois cadres en fer, de telle sorte qu'il y en ait toujours au moins deux debout, pendant que l'on démonte celui d'arrière pour le reporter en avant. Ces cadres, composés de parties faciles à assembler et à démonter, sont entretoisés ensemble.

Pour effectuer le poussage, on applique sur le devant de la maçonnerie un frontail métallique, sur lequel on prend un point d'appui avec des pinces en fer, que l'on engage dans des trous pratiqués à mi-épaisseur à l'intrados des palplanches. En faisant levier avec ces pinces, on pousse le garnissage en avant, et on le fait pénétrer dans la masse incohérente. Quand il est presque entièrement sorti de derrière la maçonnerie, ce que l'on reconnaît à certains repères, on prolonge celle-ci d'un nouvel arceau ; ensuite le poussage recommence.

Ce système présente l'avantage de supprimer la dépense de bois, occasionnée par la méthode précédente; mais il manque de souplesse, pour se prêter à des mouvements qui sont presque inévitables de la part d'un terrain aussi meuble, et que le boisage est beaucoup mieux en état de supporter sans se disloquer.

CHAPITRE XIII

PERCEMENT DES TUNNELS

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES TUNNELS

296. — *Dimensions des tunnels.* — Les galeries à grande section [1] ne sont pas sans exemple dans l'exploitation des mines. C'est ainsi que la concession de Comberedonde (Gard) a été mise en communication avec Lajasse par une galerie de 3200 mètres de longueur, $3^m,10$ de largeur et $2^m,55$ de hauteur dans les travées à une seule voie; $4^m,92$ sur $2^m,96$ dans les longs évitements à deux voies (fig. 232). Ces dimensions représentent des sections de 7, et de 13 mètres carrés.

On voit également les wagons du chemin de fer de la compagnie de Mokta-el-Hadid pénétrer dans la mine, sur un développement de plus de 1200 mètres.

De même, les nombreuses exploitations établies sur le filon du Comstock (Nevada), ont été mises en relation, à l'aide d'un tunnel construit par la compagnie Sutro [2]. Après un travers bancs de six kilomètres, recoupant le filon à 600 mètres de profondeur, on s'y

[1] Construction des grands tunnels, Breton (*Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées* de Debauve). — *Tunnelling*, etc., Dunker, 1878, New-York. — *Tunnel Baukunst*, Rziha, 1867, Berlin, 2 vol. in-4°. — *Neuere Tunnelbauten*, Zwick, 1873, Leipsick. — *Ueber Tunnelbau*, Mich. Köngœs-Toth, 1875, Vienne. — *Tunnelbau*, Lorenz, Vienne.

[2] *Annales*, 7°, V, 256, Burthe.

est développé en direction sur un parcours à peu près égal, de manière à concentrer dans cette galerie les services de l'épuisement, de l'aérage et de l'extraction, qui se trouve transformée par là en un roulage à niveau. La largeur de la section est de 4^{m},86 et la hauteur 3^{m},65.

La compagnie de Rio-Tinto [1] a taillé en plein minerai pyriteux

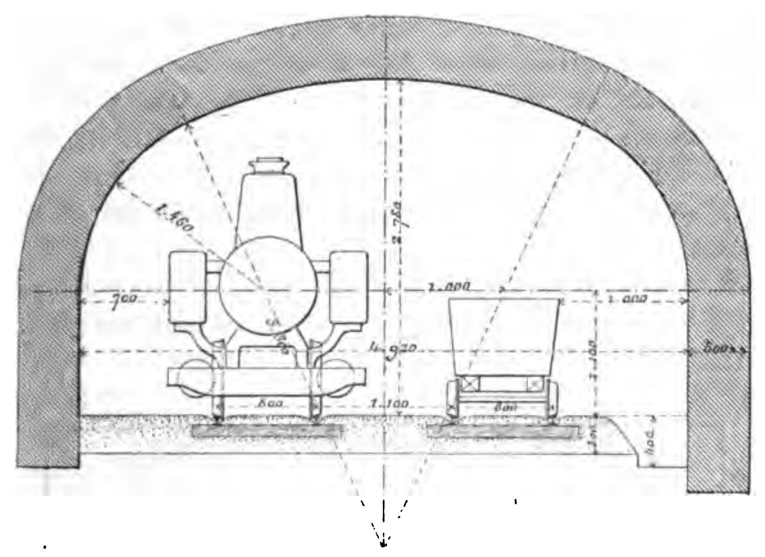


Fig. 232. Galerie de mine à grande section.

un tunnel de 2100 mètres de longueur et de 4 mètres sur 4 mètres, dans lequel circulent, sans rompre charge, les locomotives du chemin de fer de Huelva.

297. — Si l'on passe de l'industrie des mines à celles des chemins de fer ou des canaux, les tunnels deviennent innombrables, et leurs dimensions s'accroissent encore. La section atteint ordinairement une hauteur de 6 mètres sous clef, et une largeur de 8 mètres au maximum d'évasement des piédroits, qui sont arqués en courbe pour mieux résister aux poussées latérales [2].

(1) Cumenge, *Notes* sur Rio Tinto, 1883, Paris, in-4°.
(2) On n'a pas craint de présenter au Congrès institué pour procéder aux études du

Quant à la longueur, on peut citer parmi les plus remarquables en France : le souterrain de Blaisy, voisin de Dijon, de 4100 mètres; et celui de la Nerthe, près de Marseille, sur 4620 mètres. Le percement du Mont-Cenis présente 12 233 mètres de longueur, et celui du Saint-Gothard 14 920 mètres [1].

Le profil en long est en général en ligne droite, avec deux contre-pentes dirigées en sens contraires, pour assurer l'écoulement des eaux au dehors. Toutefois, depuis les percements des grandes chaînes à des niveaux élevés, les vallées latérales ne permettant plus toujours un développement suffisant des rampes d'accès, sans exagérer les pentes, on leur adjoint des parcours souterrains, tournoyant à l'intérieur dans le but d'ajouter de l'espace horizontal, pour une dénivellation donnée. On les appelle tunnels hélicoïdaux.

Les prix de revient sont naturellement très variables, suivant la section et la nature des terrains traversés. On peut citer, à titre d'exemples, les chiffres suivants.

TUNNELS	PRIX DE REVIENT DU MÈTRE	
	COURANT	CUBE
	francs	fr. c.
Lioran (*).	664	18 71
Mont-Cenis.	2,440	40 00
Saint-Gothard	2,800	51 00

(*) Cantal, longueur : 2 kilomètres environ.

canal de l'isthme de Panama, un projet de tunnel destiné à permettre le passage des vaisseaux de haut bord. Il présentait 20 mètres de largeur au plafond, 24 mètres au plan d'eau moyen, situé 10 mètres plus haut, et 34 mètres d'élévation au-dessus de ce plan, soit 44 mètres de hauteur totale. Il s'ensuit une section d'environ 783 mètres carrés, sur 7720 mètres de longueur, ou, en tout, plus de six millions de mètres cubes. (*Les Mondes*, XLIX, 479.)

[1] Le tunnel de l'Arlberg aura 10270 mètres. Le projet de tunnel sous-marin de la Manche présente 35 kilomètres sous la mer. Les rampes d'accès portent ce chiffre à un total de 48 kilomètres. On se tient à 100 mètres au-dessous du plan d'eau, en laissant 46 mètres de roche en couronne au minimum.

298. — *Puits d'accès.* — Sauf des cas, tels que ceux de ces derniers tunnels, dans lesquels la hauteur des lignes de faîte au-dessus de la traversée devient inabordable, on active singulièrement le percement en s'enfonçant, au moyen de puits, en un certain nombre de positions intermédiaires, pour multiplier les points d'attaque. Ces puits sont disposés quelquefois[1] sur l'axe même du tunnel; mais, beaucoup plus souvent, sur une parallèle située à une faible distance, afin que le service et les réparations de ces puits, conservés après l'achèvement de l'ouvrage, n'interrompent pas la circulation dans le tunnel. On le relie alors par de courtes galeries transversales aux pieds de ces puits.

Si l'on désigne par n le nombre de puits, on fera partir de chacun d'entre eux deux chantiers progressant en sens contraires, et, en y ajoutant les deux attaques directes des extrémités, on obtiendra un total de $2(n+1)$ ateliers. Ces fonçages ne sont pas en général également espacés sur le profil en long. A cet égard, le problème est évidemment d'arriver dans le temps le plus court; car c'est seulement après l'achèvement de l'ouvrage que l'on retrouvera la rémunération des capitaux employés à la construction du tunnel, et des tronçons immédiats qu'il est destiné à mettre en communication. Il faut, pour cela, que la durée du travail soit également répartie sur tous les chantiers, sans quoi, si un seul se trouve en retard, il annule les avantages de l'achèvement anticipé des autres. On espacera donc les puits, de manière que la somme de leur hauteur verticale et de la portion de travée qui leur est adjacente jusqu'à la rencontre du chantier voisin, soit autant que possible la même pour tous; ou, mieux encore, on tâchera d'obtenir cette égalité entre les durées présumées, si l'on possède une appréciation suffisante *a priori* des vitesses de percement dans les deux sens : vertical et horizontal, et dans les diverses roches, dont la coupe géologique, repérée sur le terrain, permettra de présumer la puissance et les chances de venues d'eau.

Il est clair, d'ailleurs, qu'il ne faudra pas à cet égard tomber dans l'exagération, en ce qui concerne le nombre des puits. Sans cela,

[1] Comme au tunnel de Vierzon (Cher).

l'augmentation de dépense occasionnée par les fonçages verticaux arriverait à compenser, et au delà, l'avantage dû au prompt achèvement des travaux. Ce nombre se réduira surtout par suite de l'épaisseur des terrains qui surmontent le tunnel; au point que, dans les cas extrêmes, l'économie exige précisément que l'on annule *n*. Quant au cas des tunnels sous-marins, la question ne s'y pose même pas. Aussi ces problèmes fussent-ils deméurés insolubles, sans l'introduction de la perforation mécanique qui est venue, d'une part, communiquer à l'abatage une activité inusitée, et, de l'autre, aérer les avancements, à d'aussi grandes distances, au moyen de l'air comprimé.

299. — Lorsque les puits sont foncés, on doit avant tout percer, aussi rapidement que possible, une galerie d'axe à petite section, destinée à les relier consécutivement. On y trouve l'avantage d'assurer la rencontre précise des diverses travées, de pouvoir installer en ces points intermédiaires autant de chantiers que l'on voudra pour battre au large, de faciliter la ventilation, et, par-dessus tout, d'assurer la retraite des ouvriers, si un puits vient à être rendu impraticable par quelque accident.

§ 2

TERRAINS SOLIDES

300. — *Méthode de la section entière.* — Quant au percement lui-même, il varie beaucoup dans ses procédés avec la nature du terrain:

1° Si l'on a affaire à des roches solides, on emploie la méthode de la *section entière*, en profitant de la dureté qui permet à cette section de subsister dans son ensemble, au moins pendant quelque temps, sans revêtement.

2° Si le massif n'a pas une consistance suffisante, on substitue à ce principe celui de la *section divisée*, en fragmentant le vide à

produire, pour que ses diverses parties se tiennent plus facilement chacune en particulier, et les reliant ensuite les unes avec les autres par le revêtement.

3° Enfin, si le terrain est décidément mauvais, ébouleux, aquifère, on reprend le procédé de la section entière afin d'assurer l'unité du revêtement ; car des portions exécutées séparément dans de telles conditions se raccorderaient mal, et la question des eaux pourrait même entraver absolument cette réunion. Mais on obvie, bien entendu, aux difficultés créées par le manque de solidité, au moyen de méthodes spéciales et onéreuses que nous aurons à faire connaître.

Il est inutile d'ajouter que des opérations réalisées dans ces conditions extrêmes ne sauraient s'appliquer qu'à de courtes longueurs, et en vue d'un but très important. Si une telle traversée se présentait sur une étendue notable pour un tracé de chemin de fer, on devrait remanier le projet, en cherchant un autre passage.

301. — Le procédé de la section entière s'applique avec des gradins, ordinairement au nombre de trois, assez développés dans le sens de l'axe pour que l'on puisse installer sur chacun d'eux une équipe distincte de travailleurs. Le gradin supérieur est de beaucoup le moins bien partagé : d'abord parce qu'il attaque de front le massif, qui, pour les autres, se trouvera dégagé à la fois sur deux faces ; en outre, en raison de la gêne qu'apporte la forme cintrée du plafond.

On fractionne ordinairement le percement, en pratiquant d'abord une galerie médiane au cerveau de la voûte, et battant au large, à droite et à gauche, à la suite du poste d'avancement.

Le muraillement suit à une certaine distance du gradin inférieur. La voûte ayant été élevée sur ses cintres et ses couchis (n° 267), on exécute une chape de ciment sur l'extrados, afin de la rendre imperméable, et l'on y étale un lit de planchettes, pour que ce revêtement ne soit pas endommagé par le blocage de pierres, à l'aide duquel on met la voûte en serrage contre la roche.

302. — *Méthode montante.* — Le principe de la section divisée

peut, à son tour, s'appliquer de deux manières différentes, que nous appellerons le *mode montant* et le *mode descendant*.

Pour le mode montant (fig. 233), on pratique deux petites galeries boisées, de $1^m,20$ à $1^m,50$ de largeur, le long de l'emplacement destiné aux piédroits. Elles laissent entre elles un stross central de ro-

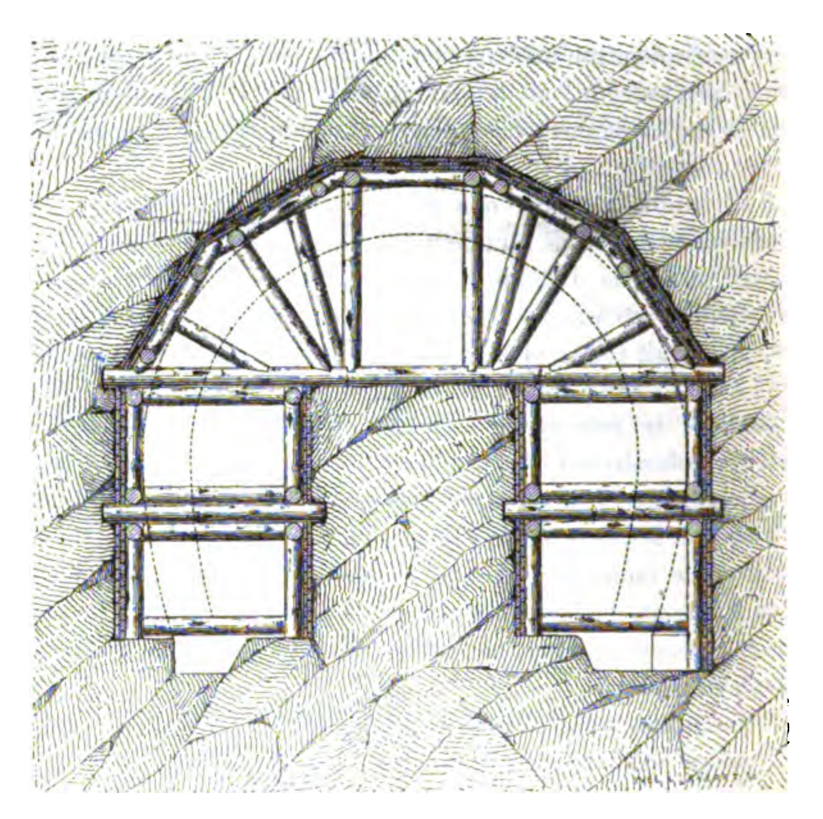


Fig. 233. Méthode montante.

cher. Dans chacune d'elles, on s'élargit latéralement en déboisant une longueur de 2 à 4 mètres, suivant le degré de solidité, et refouillant dans la paroi la place du piédroit, que l'on élève sur cette étendue restreinte. On fait cette opération de distance en distance, en laissant les entre-deux pour conserver à la galerie sa solidité. Quand les vides ainsi pratiqués ont été remplacés par des travées de ma-

çonnerie, on recommence la même opération pour les parties intermédiaires, de manière à relier les diverses portions du muraillement, en profitant des pierres d'attente qu'on laisse chevaucher de l'une à l'autre.

On perce alors au cerveau de la voûte une galerie de petite sec-

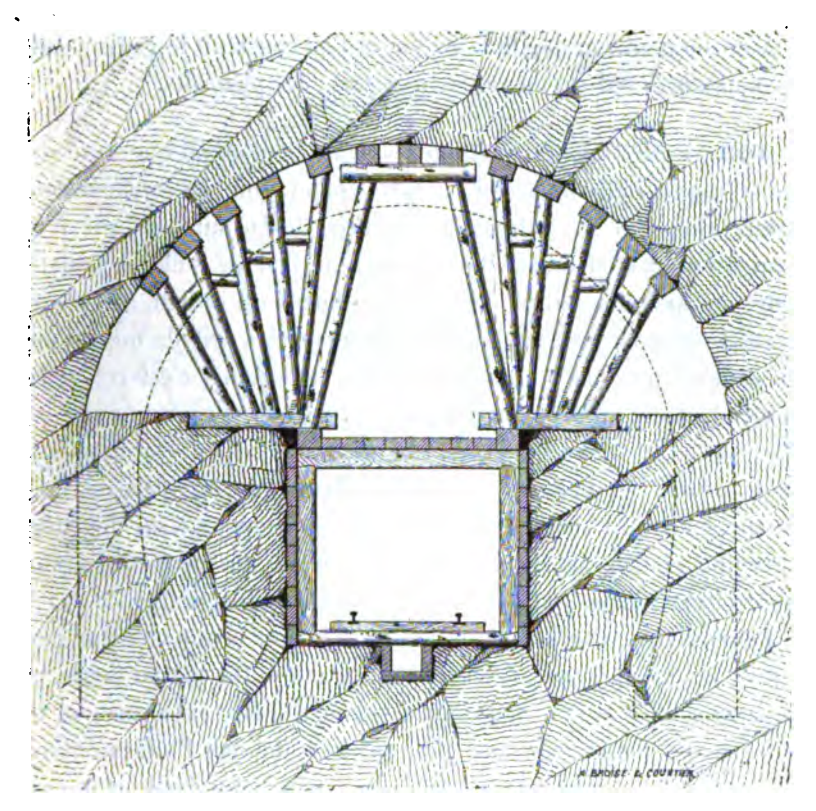


Fig. 234. Méthode descendante.

tion, convenablement boisée. Puis, en procédant encore par travées alternatives, on bat au large pour établir le cintre. On boise *en soleil* ces divers segments. A cet effet, on pose horizontalement des semelles transversales, formées de deux moitiés que l'on assemble en trait de Jupiter, pour en faciliter la pose et le démontage. Ces pièces sont soutenues par le stross et les piédroits. On y appuie des

buttes divergentes qui supportent la roche soit directement, soit par l'intermédiaire d'écoins pour obtenir plus de portée. Chaque chambre de travail présente ordinairement trois pareilles fermes, placées à ses extrémités et en son milieu. On pose alors les couchis sur les cintres, et l'on exécute un arceau de voûte, en déboisant progressivement. Lorsque les segments partiels sont élevés, on traite de même les entre-deux pour les relier ensemble.

A ce moment, on dépile le stross, et l'on construit le radier, dont les naissances ont été ménagées à la base des piédroits.

303. — *Méthode descendante.* — L'ordre montant que nous venons d'esquisser devait dériver naturellement, pour les constructions souterraines, de l'habitude des édifices de la surface, qui n'en comportent pas d'autre. Mais quand, au lieu de s'élever dans le vide, on opère au sein de la terre qui forme un milieu solide, en ayant à excaver préalablement l'espace qu'il s'agit de maçonner, on peut adopter une marche inverse, et, en somme, c'est cet ordre descendant qui tend aujourd'hui à prévaloir. Il se recommande, en effet, par cette circonstance que, si l'on commence par l'établissement de la voûte, en finissant par les piédroits, la première se construira dans un terrain solide, qui n'a pas encore joué sur des vides pratiqués en-dessous. On se donnera par là plus de facilités pour établir cette partie, qui est la plus délicate de l'ouvrage.

Pour suivre le mode descendant (fig. 234), on commence par pratiquer au clavage une galerie à petite section. On bat au large, en reproduisant tous les détails qui viennent d'être expliqués, et on laisse porter les naissances à plein sur la roche, par l'intermédiaire de sablières qui règnent suivant la longueur, pour faciliter le soutènement de la voûte lorsque l'on viendra excaver au-dessous la place des piédroits. On creuse alors dans l'axe un large fossé, qui descend jusqu'à la sole future. On y bat au large, par travées que l'on attaque de deux en deux, et au fond desquelles on établit des retraites de maçonnerie, pour élever les piédroits jusqu'à la voûte. Cela fait, on abat les entre-deux et l'on complète ces piédroits. Il ne reste plus alors qu'à construire le radier.

L'inconvénient de cette méthode est la possibilité des tassements.

On en fait quelquefois la part *a priori*, en établissant la voûte un peu au-dessus du niveau précis où l'on compte la voir arriver par cet affaissement.

304. — *Méthode mixte.* — La méthode avec avancement à la base

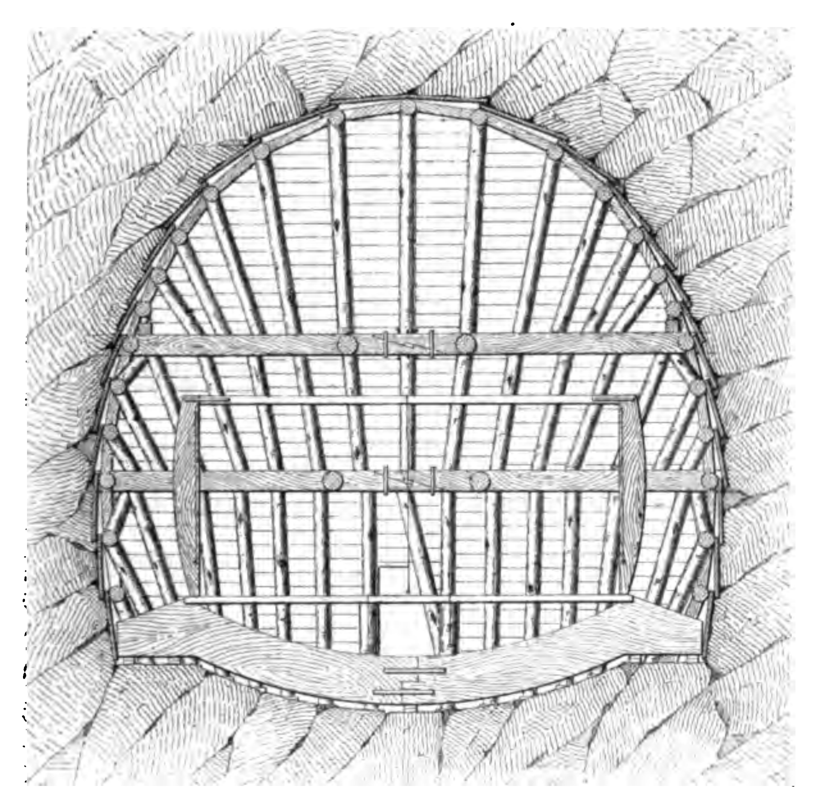


Fig. 235. Méthode anglaise.

a été appliquée au Mont-Cenis; le procédé qui attaque par une galerie en calotte, appelé aussi *méthode belge*, a été employé au Saint-Gothard. Au tunnel de l'Arlberg, on suit une méthode mixte (1).

(1) Bridel, *Examen critique des systèmes d'exécution appliqués à la construction rapide des grands tunnels.* Lucerne, 1883.

On débute avec une galerie à la base. Le travail à la main lui imprimerait un avancement égal à celui de l'élargissement et de la maçonnerie. Mais l'accélération due à l'emploi de la perforation mécanique détruisant cet équilibre, il devient nécessaire de mul-

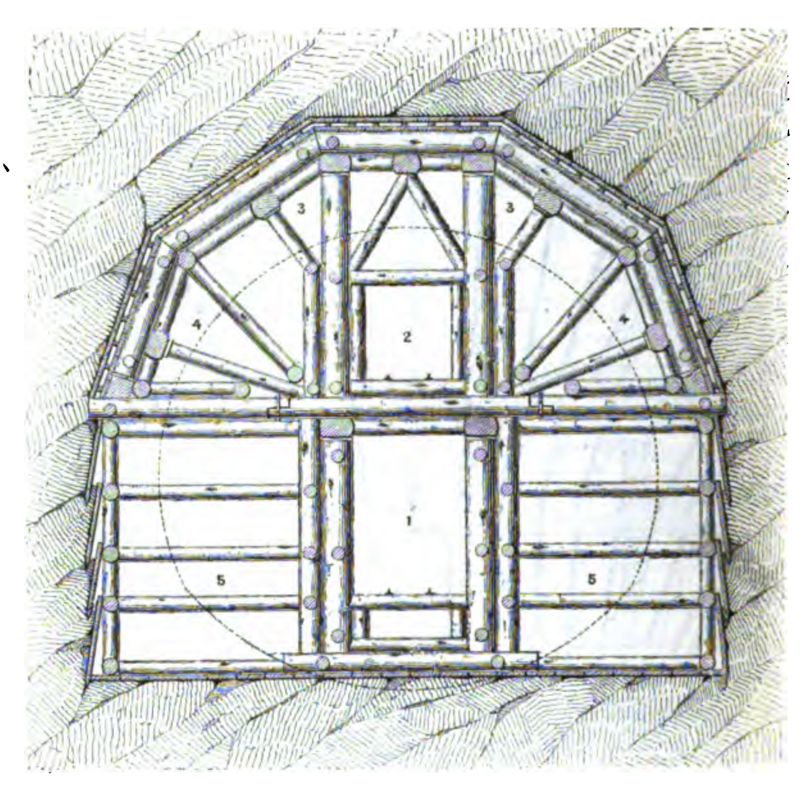


Fig. 236. Méthode autrichienne (coupe transversale).

tiplier les points d'attaque pour l'élargissement. On s'y prend pour cela de la manière suivante.

On perce, tous les 50 ou 60 mètres, une cheminée verticale dans le faîte de la galerie d'avancement, de manière à se porter au clavage. On fait alors partir de ce point, en avant et en arrière, deux tronçons de galerie au cerveau, dont les déblais sont évacués par la cheminée dans la voie de fond. Quand on s'est rejoint d'une

cheminée à l'autre, on bat au large en enlevant la calotte. On déblaye ensuite le petit stross, compris entre la sole de la galerie supérieure et le plafond de la galerie d'avancement, puis on enlève les piédroits à droite et à gauche de cette dernière, et l'on exécute le muraillement.

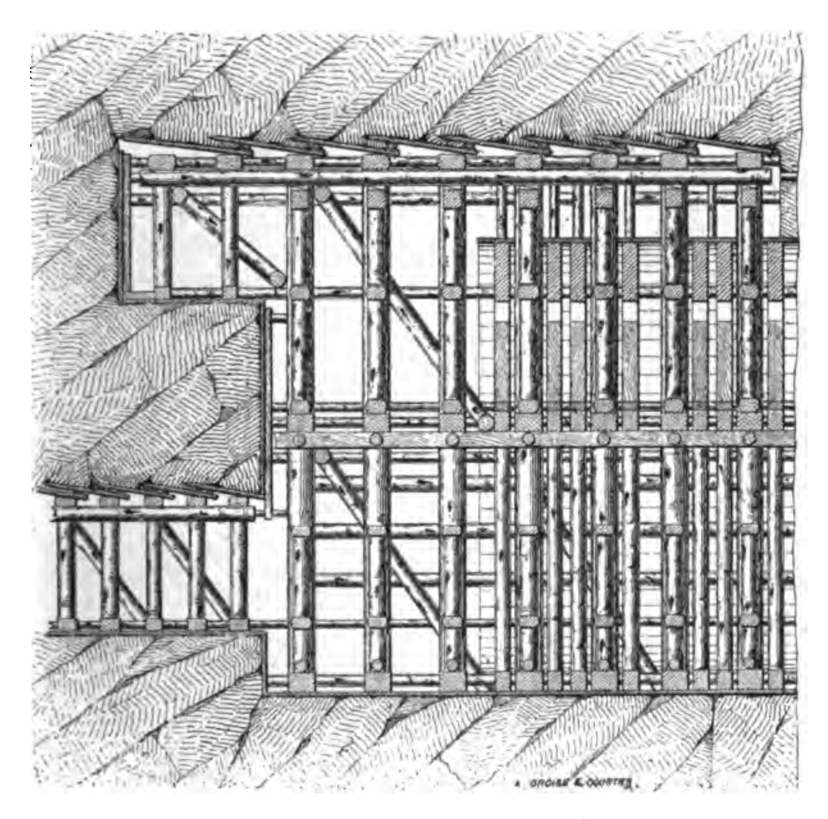


Fig. 237. Méthode autrichienne (coupe longitudinale).

§ 3

TERRAINS INCONSISTANTS

305 — *Méthode anglaise.* — Quand le terrain manque de la solidité suffisante, on revient, comme nous l'avons dit, au prin-

cipe de la section entière, en employant les artifices suivants.

On commence (fig. 235) par percer au cerveau une petite galerie par les procédés du poussage (n° 289). On procède ensuite, en arrière de l'avancement, à l'élargissement de la section par reprises de 3 à 4 mètres au plus. On bat au large, à droite et à gauche,

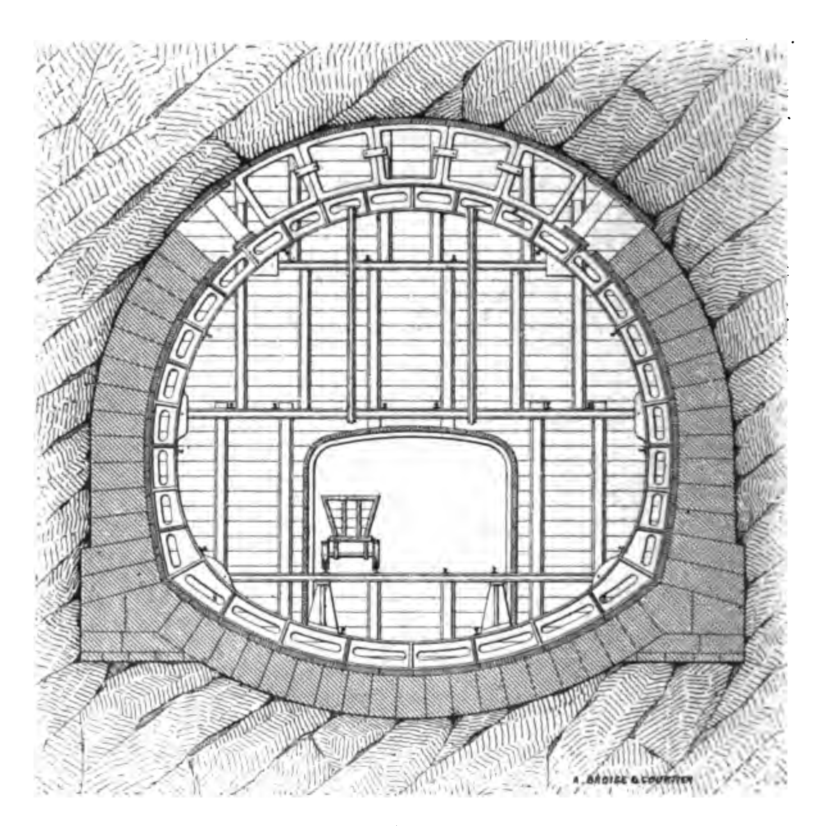


Fig. 238. Méthode de Rziha (coupe transversale).

et l'on boise cette travée à l'aide de rondins bien lisses, disposés suivant les génératrices du cylindre. Ce garnissage est soutenu sur des soleils, qui reposent sur de forts entraits posés à terre en travers de la section. L'une de ces fermes, placée à l'avant de la chambre, maintient un bouclier complet contre le front de taille.

On s'approfondit ensuite suivant l'axe, d'une hauteur égale à la

moitié environ de la distance qui sépare de la sole future, en maintenant les parois de cette sorte de fossé par un boisage provisoire convenablement entretoisé. Puis on bat au large, de manière à rejoindre le profil projeté, et l'on continue la ceinture de rondins, en les maintenant, ainsi que l'entrait supérieur, par de nouvelles

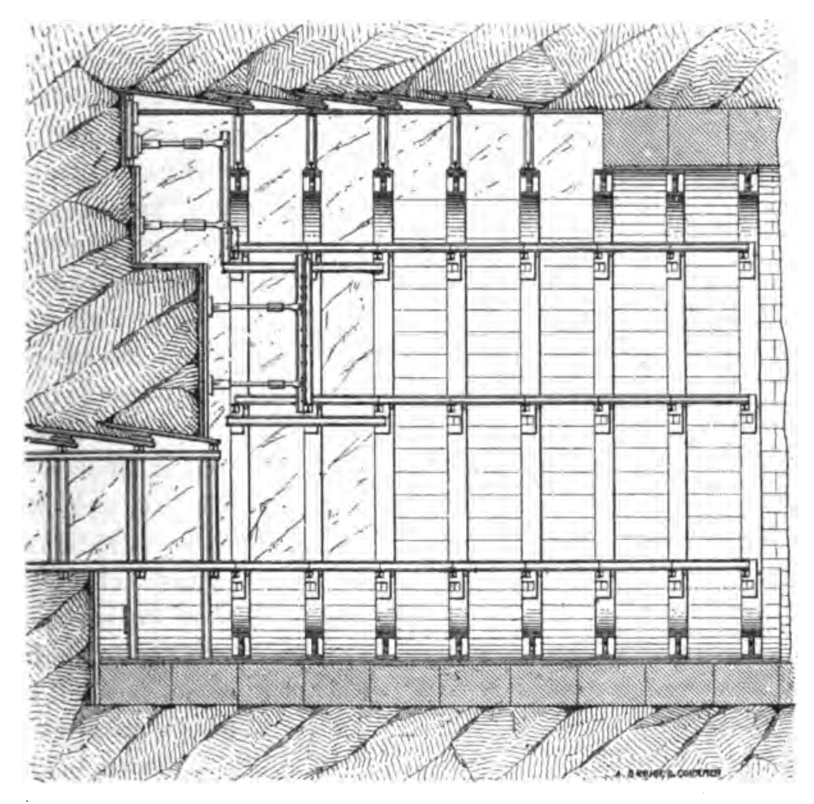


Fig. 239. Méthode de Rziha (coupe longitudinale).

jambes de force destinées à reporter toutes les pressions sur un second entrait. Cela fait, on recommence les mêmes opérations pour la troisième travée, et le revêtement complet se trouve alors soutenu par des entraits posés à la base.

A ce moment, en déboisant successivement les soleils, on commence le muraillement, que l'on exécute d'une seule pièce afin

d'assurer son unité. Quant aux rondins, on laisse derrière la maçonnerie ceux qui sont nécessaires pour maintenir les terres, et l'on a soin ensuite de les pousser en avant, pour protéger la chambre de travail qui succédera à celle-ci, en bourrant, autant qu'il sera possible, les vides laissés par ce mouvement de progression.

306 — *Méthode autrichienne.* — Dans une seconde méthode, on procède par percements et élargissements plus restreints, boisés chacun avec un grand soin. La réunion de ces échafaudages partiels constitue le boisage de la section entière, que l'on muraille ensuite d'un seul coup.

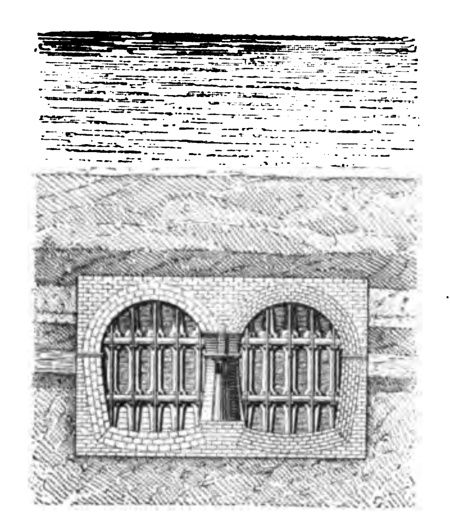


Fig. 240.
Tunnel de la Tamise (coupe transversale).

On commence, comme l'indiquent les numéros d'ordre de la figure 236, par percer à la base une galerie d'axe. On ouvre ensuite une galerie au cerveau, sur les chapeaux de la première. En troisième lieu, on pratique un élargissement sur la moitié environ de la hauteur de celle-ci, et on le boise avec un entrait horizontal temporaire, qui disparaît au moment de la réunion avec l'élargissement de la seconde moitié de la partie supérieure. Enfin. on bat au large des deux côtés de la galerie inférieure. Les divers avancements s'effectuent d'ailleurs à l'aide du poussage, comme l'indique la coupe longitudinale (fig. 237).

307 — *Méthode de Rziha.* — M. Rziha est l'auteur d'une méthode spéciale (fig. 238, 239), fondée sur l'emploi de soutènements métalliques provisoires. Il en établit deux ceintures concentriques, l'une intérieure, formant cintre pour la pose de la maçonnerie, la seconde extérieure, tenant momentanément

la place de cette maçonnerie, et disparaissant pièce par pièce

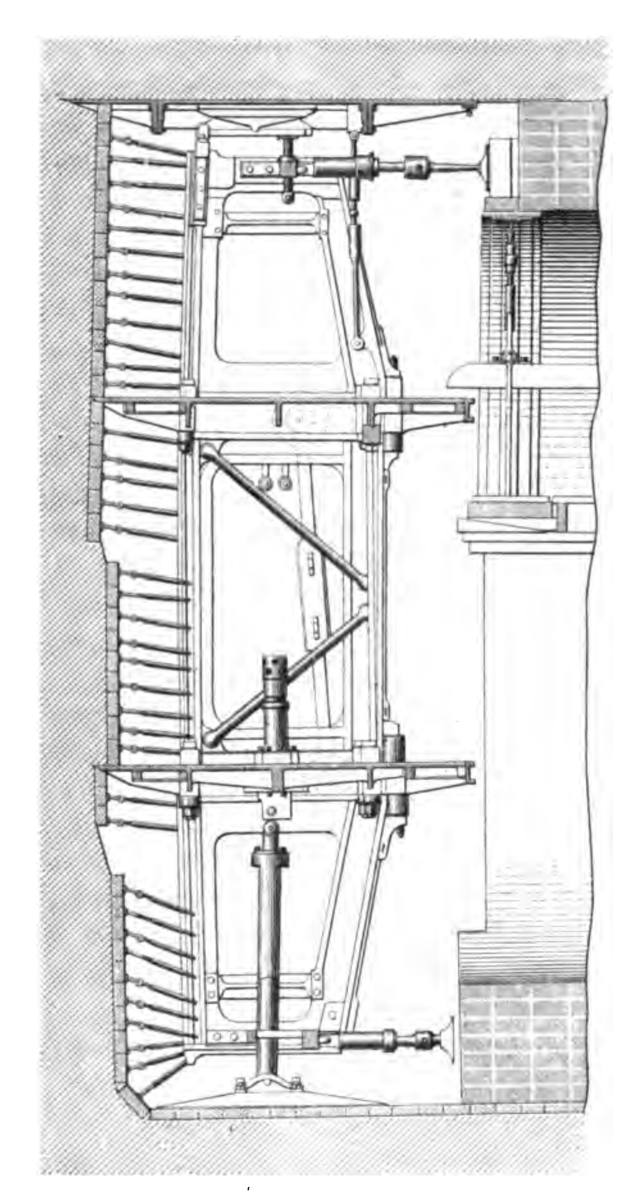


Fig. 241. Tunnel de la Tamise (coupe longitudinale).

pour la pose de celle-ci, tandis que le cintre intérieur ne s'en-

lève qu'au moment où l'arceau correspondant de muraillement a fait prise.

On ouvre d'abord à la base une petite galerie au poussage, puis on bat au large, en enfonçant des palplanches sur tout le périmètre autour du cintre métallique, et attaquant le front de taille par gradins. Ces derniers sont maintenus par les différentes parties du bouclier, arc-boutées par des poussards à vis contre les arceaux métalliques.

§ 4

TERRAINS COULANTS

308 — *Méthode de Brunel.* — Ces derniers procédés deviendraient eux-mêmes impraticables dans un terrain aquifère et coulant. On en est alors réduit à la méthode introduite par Brunel. Il s'agissait pour lui de pratiquer sous le lit de la Tamise, dans un sol absolument détrempé et sans aucune consistance, un vide rectangulaire de $6^m,85$ de hauteur sur $11^m,55$ de largeur, pour y inscrire deux cintres muraillés (fig. 240).

Le principe suivi reproduit, avec les modifications suivantes dans l'exécution, celui qui a été indiqué au n° 295. Le bouclier était formé d'un châssis métallique unique pour tout le front de taille (fig. 241), divisé en 6 travées verticales et 6 rangées horizontales, c'est-à-dire en tout : 36 compartiments. Chacun de ces derniers était fermé par une série de madriers métalliques, arc-boutés contre le châssis par des poussards à vis; sur le périmètre du bouclier régnait une garniture latérale appuyée contre l'extrados de la tête du muraillement.

On faisait avancer, à l'aide des vis, chacun des boucliers. Lorsqu'on arrivait à un refus complet, on soulageait la plaque, en laissant couler un peu de boue par des orifices d'une fermeture facile. Les 36 boucliers partiels étant ainsi avancés par rapport au châssis, il restait à mettre celui-ci en mouvement pour les rejoindre. On y arrivait à l'aide d'une autre série de vis, qui prenaient leur point d'appui sur la tête de la maçonnerie, et que l'on

faisait mouvoir dans le sens progressif, en tournant de quantités correspondantes, en sens contraire, les vis des boucliers partiels, immobiles contre le front de taille. On a également combiné, pour cette manœuvre, l'emploi des presses hydrauliques avec celui des vis. Après ce poussage en avant, on ajoutait un nouvel arceau à la maçonnerie.

309 — Telle est l'esquisse de ce mémorable travail ; son exécution a duré 18 ans, à cause des accidents qui l'ont traversée. Deux fois la Tamise est entrée dans le tunnel. On lui a refait un lit artificiel en noyant des masses d'argile, et reprenant ensuite l'opération. Le prix de revient a atteint le chiffre exorbitant de 46 000 francs par mètre courant.

Depuis lors, un nouveau percement a été exécuté par Barlow, près du premier, avec une section ronde de $2^m,13$ de diamètre seulement [1]. Il a été achevé en un an, sur 405 mètres de longueur, et avec un prix de revient de mille francs environ par mètre courant; c'est-à-dire moitié moins cher que la première opération, en les rapportant toutes deux au mètre carré de section.

Je citerai enfin, parmi les moyens qui peuvent être employés pour le percement des tunnels dans les terrains aquifères, l'emploi de l'air comprimé, qui sera indiqué plus loin (n° 342).

[1] Le nouveau tunnel sous la Tamise (*Annales des ponts et chaussées*, juin 1870. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXIX, 178).

CHAPITRE XIV

FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU BAS

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES PUITS

310 — *Dimensions des puits.* — Les puits de mines sont également appelés *fosses* dans le nord de la France et en Belgique, quand ils débouchent au jour, *bure* ou *beurtia* lorsqu'ils sont renfermés dans l'intérieur. On désigne sous le nom d'*avaleresse* un puits en fonçage, particulièrement quand l'opération est très gênée par les eaux.

La hauteur des puits peut varier, depuis les chiffres les plus réduits, jusqu'à l'énorme profondeur de mille mètres. On a réalisé ce chiffre en 1875 au puits Adalbert de Przibram, qui a été poussé, depuis cette époque, jusqu'à 1024 mètres. Celui de Damprémy, à Sacré-Madame (Charleroi), présente 1080 mètres de hauteur[1]. En

[1] Les travaux de Viviers-Réunis, à Gilly (Charleroi), ont atteint la profondeur de 1065 mètres, en deux travées successives, formées d'un puits de service de 863 mètres et d'un bure de recherche de 202 mètres. Les mines d'argent de M. Mackay, à Virginia-City (Californie), se trouvaient en 1880 à près de 1000 mètres. (De Lesseps, Comptes rendus de l'Académie des sciences, XC, 1133.)

Comme éléments de comparaison, je rappellerai que les tours de Notre-Dame de Paris ont 66 mètres de hauteur, la flèche des Invalides 105 mètres, la flèche de Rouen 150 mètres; le Mont-Blanc 4810 mètres, le Gaurisankar 8840 mètres. MM. Glaisher et Coxwell; MM. Sivel, Crocé-Spinelli et Gaston Tissandier se sont élevés en ballon jusqu'à 8000 mètres. La plus grande profondeur de la Manche, sur le trajet du projet de tunnel, n'est que de 54 mètres. M. Walsh a trouvé le fond de l'Océan à 10424 mètres, près des côtes des États-Unis.

France, le puits le plus profond se trouve à Montchanin (Saône-et-Loire). Il atteint 700 mètres (¹).

311 — La section est souvent rectangulaire. Cette forme se subdivise facilement en compartiments destinés aux divers services, au moyen de bois d'entrefend, qui servent en même temps à contreventer les longs côtés. Il convient de placer le petit côté du

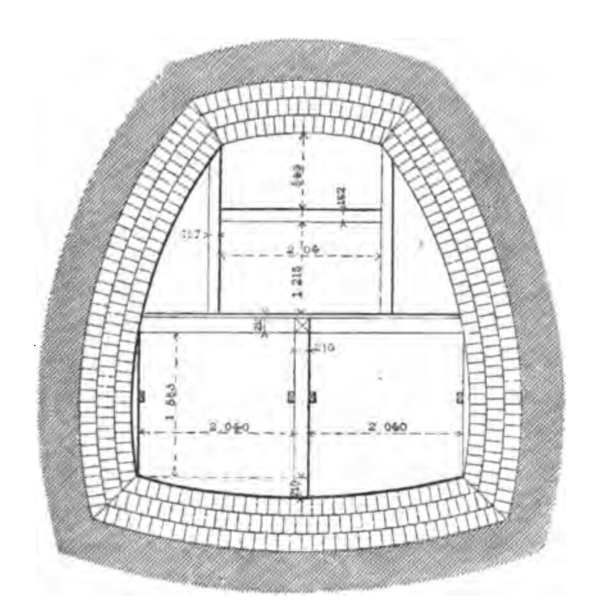


Fig. 242. Puits n° 4 de Heinitz (coupe longitudinale).

rectangle parallèlement à la direction de la stratification. Il se trouve dans de meilleures conditions, pour résister à la coulée du terrain, que les bois de plus longue portée.

La section carrée est moins commode pour le service, et, en outre, elle présente, comme la précédente, l'inconvénient des angles vifs.

Dans les polygones réguliers, ces angles deviennent de plus en plus obtus. Ils sont plus faciles à picoter et à calfater. En augmen-

(¹) Et après lui : Ronchamp (Haute-Saône), 694 mètres ; Anzin (Nord), 620 mètres ; Epinac (Saône-et-Loire), 618 mètres ; Comberigol (Loire), 606 mètres.

tant le nombre des côtés, on diminue la portée de chacun d'eux. Nous avons déjà vu que l'on en met jusqu'à 22.

La limite dont on approche ainsi est la section circulaire. Elle présente l'avantage d'une parfaite symétrie pour les stratifications horizontales; mais, si les couches sont inclinées, cette propriété perd beaucoup de sa valeur. En même temps, l'aire totale est plus difficile à utiliser pour les différents services, si ce n'est pour l'aérage.

Quant à la section elliptique, elle présente les mêmes inconvénients que le cercle, sans offrir la même simplicité. Elle ne se recommande que pour le cas où l'on voudrait opposer le sommet du grand axe à la poussée de terrains inclinés.

Citons enfin la disposition trapézoïdale (fig. 242), qui ne peut se justifier que par des circonstances exceptionnelles [1].

312 — En ce qui concerne les dimensions de la section, l'on ne craignait pas autrefois de les réduire au delà de toutes les limites raisonnables. On voit encore en France des puits carrés de 1 mètre, et même $0^m,90$ de côté. Cette solution est détestable, car cette prétendue économie de fonçage pèse ensuite lourdement sur le service.

Aujourd'hui, en revanche, on tend trop souvent à verser dans l'excès contraire. On atteint $6^m,50$ pour le diamètre de certains puits circulaires de Zwickau (Saxe), ce qui correspond à 33^{m^2} de section. Un puits elliptique du pays de Galles est de $5^m,40$ sur $6^m,60$, c'est-à-dire 28^{m^2}. A Kladno (Bohême), le puits rectangulaire Franz-Joseph a 2 mètres sur 10 mètres, soit 20^{m^2} de section; et le puits Engerth : $4^m,40$ sur $9^m,00$, c'est-à-dire 40^{m^2}. Le puits de Wilkiebarre (Pennsylvanie) présente $3^m,43$ sur $13^m,73$ ou 47^{m^2}; enfin celui des mines d'or de Berezowski : $7^m,85$ sur 9,85, soit 77^{m^2}. Ce fruit d'une véritable aberration n'a pas tardé à s'effondrer, en arrivant à la profondeur de 55 mètres.

On doit considérer comme des limites qu'il y a rarement lieu de dépasser, les diamètres de 3 à 5 mètres pour les puits circulaires, et des rectangles atteignant 2 à 3 mètres pour leur petit côté et

[1] Cette forme a été employée à Heinitz (Sarre).

4 à 6 ou 8 mètres au plus pour le grand axe ; ce qui représente des sections variant depuis 7 ou 8^{m^2} jusqu'à 20 et 25^{m^2}.

Callon fait observer avec beaucoup de justesse, qu'après qu'une discussion attentive des engins d'extraction, épuisement, descenderies, etc., aura déterminé leur section nécessaire, tout excédent aura pour effet, sans améliorer en réalité ces services, de compliquer le fonçage, en accroissant la dépense et l'entretien. L'on n'aura même pas à en attendre, la plupart du temps, un avantage bien sensible pour l'aérage. En effet, la section des puits étant d'ordinaire considérable, et sa longueur peu importante, par rapport à celles du réseau de galeries, la somme des résistances proviendra principalement de ces dernières et sera peu influencée par l'élargissement du puits.

213 — *Aménagement des puits.* — On varie beaucoup le dispositif employé pour l'aménagement de la section. Souvent un puits ne correspond qu'à un seul service. Dans le Nord et le Pas-de-Calais, on adjoint au compartiment principal de certaines fosses, un *goyot*, ou *carnet* d'aérage, au moyen d'une cloison parallèle au petit côté du rectangle, ou disposée suivant une corde du cercle. D'autres fois, ce sera une descenderie, ou compartiment d'échelles.

On peut associer aussi l'extraction et les pompes d'épuisement dans les deux parties d'un puits rectangulaire. On peut également réunir l'extraction, l'épuisement et une descenderie à l'aide de deux cloisons parallèles au petit côté, s'il est très réduit par rapport à la longueur. Dans le cas contraire, on disposera un seul entrefend dans ce sens, et, dans le compartiment ainsi formé, une cloison parallèle au grand axe. On a introduit récemment la tendance, assez discutable, d'armer de grands puits d'un double service d'extraction, dans deux compartiments distincts.

M. de Villaine, à Montrambert, a localisé les diverses parties d'un même service dans deux puits différents. Chaque cage se meut seule dans l'un des puits. Elles sont rendues solidaires par la machine, située entre les deux. On pourrait, en quelque sorte, envisager ces deux puits comme les éléments d'un organe unique, ayant pour section le système de deux cercles. En dehors de ce cas

tout spécial, on fait encore un grand usage des *puits jumeaux*. On désigne sous ce nom le système de deux puits très rapprochés l'un de l'autre, constituant un même siège d'exploitation. Dans l'un se trouvera, par exemple, l'extraction, et dans le second seront réunis tous les autres services. L'air entre par le premier et sort par le puits conjugué. Il est, toutefois, nécessaire d'imposer une limite au rapprochement de ces fosses, pour que le massif intermédiaire ne puisse être emporté par un coup de grisou, ni compromis par un éboulement ou par les tassements. A cet égard, la loi anglaise exige un minimum de 3 mètres. Il sera bon de prendre au moins 10 mètres, si rien n'y met obstacle.

Les bures, ou *puits intérieurs*, rendent des services pour établir des communications entre les diverses parties des travaux. Quelques-uns prennent une importance exceptionnelle. Je citerai comme exemple le *puits central* de Portes (Gard) [1]. Il forme un siège d'extraction, dont le mouvement ne se prolonge pas jusqu'au jour, mais s'arrête au niveau de la vallée, dans laquelle on débouche en galerie.

Il existe enfin des *puits inclinés* [2], c'est-à-dire des montages d'une grande section et d'une pente tellement raide, que la circulation que l'on y établit se rapproche complètement du type de l'extraction verticale; seulement elle se trouve placée dans de très mauvaises conditions. Cette situation exige, en effet, une plus grande longueur pour atteindre un niveau donné, ce qui représente un supplément de dépense de revêtement, de guidonnages, de câbles. Le frottement prend une importance plus grande, par la composante du poids normale à la paroi, qui n'existe pas dans les puits verticaux. Le temps du trajet se trouve augmenté, tant par l'accroissement de la longueur que par la diminution de vitesse imposée par la prudence, dans ces conditions plus compliquées. L'activité de l'extraction sera donc atténuée, à moins que l'on ne rachète cet affaiblissement par le poids de l'enlevage et les dimensions transversales, ce qui exercerait un nouveau retentissement sur les chapitres de dépense que je viens d'énumérer.

[1] Babilot, *Annales*, 7ᵉ, VII, 432.
[2] Au Hartz, en Saxe, à Idria, au lac Supérieur, etc.

La complication augmente encore pour certains puits, qui sont composés d'un tronc vertical, destiné à rejoindre le gîte, et d'un prolongement oblique, dirigé suivant sa ligne de plus grande pente. Cette disposition se rencontre dans certaines mines métalliques d'Angleterre, du Hartz, du Comstock. C'est, en général, pour avoir voulu obtenir trop tôt des résultats rémunérateurs, en plaçant le percement dans le minerai même, que les anciens ont légué à leurs successeurs tous les inconvénients de pareils puits, devenus définitifs.

§ 2

FONÇAGE DES PUITS BOISÉS

314 — *Terrains non aquifères.* — Si le terrain est suffisamment solide, on n'a qu'à exécuter successivement les opérations de l'abatage et du boisage. Après avoir effectué le fonçage sur la hauteur jugée convenable, on pose un cadre porteur au pied de cette travée, et, sur cette base, on élève des cadres successifs, en les mettant, autant que possible, en serrage contre la roche pour soulager le cadre porteur. C'est le *mode montant.*

Si, au contraire, le terrain ne peut être laissé à nu que sur de très faibles hauteurs, on emploie le *mode descendant.* On commence alors par poser, pour la première travée, un cadre de superficie, qui déborde largement sur les dimensions de la section, de manière à porter sur la roche, ou sur un massif de maçonnerie ; et, pour les suivantes, un cadre porteur, enclavé dans des potelles, et appelé à jouer le même rôle. On se rattache alors à ce point d'appui, en suspendant les uns aux autres, au moyen d'écoins, les cadres successifs, chaque fois que l'on s'est approfondi suffisamment pour la pose d'un nouveau cadre. On apporte encore le même soin à mettre tous ces cadres en serrage, pour soulager les écoins et le porteur.

Dans des conditions, que l'on puisse appeler ordinaires, et en excluant les difficultés spéciales dont nous allons parler dans un

instant, on peut admettre que ces procédés de fonçage, appliqués à un puits de 4 mètres de diamètre pour fixer les idées, occasionneront une dépense variant de 300 à 1000 fr., suivant les circonstances.

315 — Si le terrain est absolument inconsistant [1], sans être encore aquifère d'une manière caractérisée, on franchit cette passée au moyen du poussage (fig. 243), tel qu'il a été décrit pour les galeries. On remarquera toutefois, à l'avantage du cas actuel, que tout y est symétrique autour de l'axe, et que les diverses parois y jouent des rôles identiques; tandis que la pesanteur sollicite d'une manière très différente la sole, le plafond, et les piédroits d'une galerie.

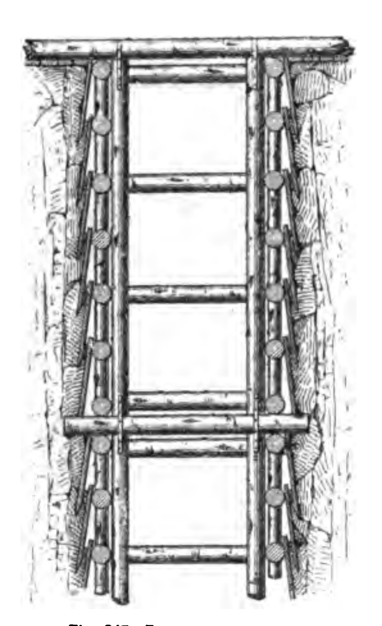


Fig. 243. Fonçage au poussage (coupe verticale).

En outre, le front de taille se trouvant horizontal et placé sous les pieds de l'ouvrier, au lieu d'être vertical comme à l'avancement d'une galerie, il est inutile, tant que nous ne sommes pas encore engagés dans des difficultés spéciales, d'introduire la complication du bouclier. On aura cependant à établir au fond quelques garnissages sommaires, si sa surface n'est pas plane, ce qui est l'ordinaire. On a soin, par exemple, d'y pratiquer un avant-puits où se rassemblent les eaux, pour dégager l'ouvrier et afin qu'il soit plus facile de les y puiser.

316 — *Terrains aquifères.* — Il reste enfin à considérer le cas d'un terrain éminemment aquifère. Certaines régions présentent ce

[1] Notice sur le rétablissement d'un puits éboulé, Simoins (*Annales* des travaux publics de Belgique, XVI, 387).

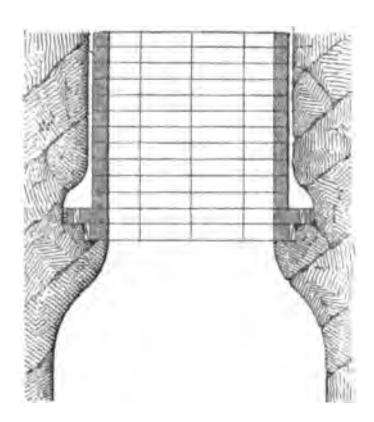
caractère au plus haut degré, comme les départements du Nord et du Pas-de-Calais, ainsi que la partie adjacente du bassin belge, celui de la Moselle, une partie du bassin de Newcastle, celui de la Ruhr, etc. La traversée des morts-terrains tertiaires ou crétacés, ou parfois plus anciens, qui recouvrent ces formations houillères (fig. 5 et 6, p. 11), constitue certainement l'un des plus formidables obstacles qu'ait jamais eu à vaincre l'art du mineur. La rencontre du terrain houiller met fin à ces difficultés spéciales. Il est, dans le bassin franco-belge, recouvert d'une couche assez mince de poudingue, appelé *tourtia*, représentant le grès vert, et surmonté d'une masse puissante d'argile que l'on désigne sous le nom de *dièves*, et qui maintient les eaux supérieures, en protégeant contre leur invasion les terrains subordonnés.

Les morts-terrains eux-mêmes ne sont pas uniformément spongieux sur toute leur hauteur. Leur stratification présente des alternances, au milieu desquelles certaines couches spéciales donnent des quantités d'eau considérables. On les appelle des niveaux d'eau, ou simplement des *niveaux*. Jusqu'à ce que l'on rencontre l'un d'eux, les moyens précédents permettent de s'approfondir. Quand on arrive à un pareil lit, il s'agit de *passer le niveau*, pour atteindre des strates plus solides et beaucoup moins aquifères. On pose alors dans ce nouveau banc un cadre spécial, appelé *trousse picotée*. Il est destiné à former une ceinture étanche, que l'eau du niveau ne puisse franchir, en filtrant entre elle et la roche. Si donc on élève sur cette base un cuvelage, qui soit étanche par lui-même, l'intérieur du puits sera définitivement défendu contre l'accès des eaux. Ces opérations étant effectuées, on recommence à s'approfondir, et, lorsqu'on rencontre un nouveau niveau, l'on reprend la même série de travaux.

Nous aurons d'après cela, dans cette longue et minutieuse description, à examiner trois points distincts : 1° la pose de la trousse picotée, 2° l'élévation d'une retraite de cuvelage sur cette trousse, 3° le raccordement du sommet de cette colonne avec la face inférieure de la trousse précédente.

317 — Pour établir une trousse picotée, on commence par

poser sur le fond de l'avaleresse un cadre formé de pièces juxtaposées (1), qui est à proprement parler la trousse (fig. 244, 245). Il laisse entre lui et le terrain un vide de quelques centimètres, dans lequel on insère la *lambourde*. Elle est formée d'une série de madriers de 4 centimètres d'épaisseur, introduits de champ. On force des coins entre la lambourde et la roche; on les retire immédiatement avec un levier fourchu, et l'on insère dans le vide qu'ils laissent, de la mousse, que l'on y bourre à refus.



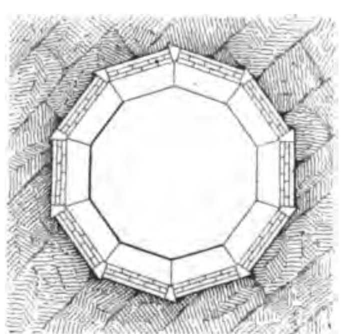


Fig. 244 et 245. Trousse picotée (coupes verticale et horizontale).

Lorsqu'il devient impossible d'introduire de nouvelles quantités de mousse, on s'occupe de la mettre en serrage contre le terrain. Il s'agit pour cela de l'y repousser à l'aide de la lambourde. On écarte à cet effet cette dernière de la trousse, par l'introduction d'une double ceinture de plats-coins. On commence par insérer à coups de masse des plats-coins, ayant pour section un triangle rectangle. Quand ils sont en place, en déterminant un serrage énergique, on ne saurait laisser les choses en cet état, car les forces, en les supposant, pour simplifier, normales aux faces de ces prismes, seraient inclinées sur l'horizon et tendraient à déjeter le système. Pour

(1) La plupart du temps la trousse est en bois de premier choix. Quelquefois, cependant, elle est composée de pièces de fonte, qui forment par leur réunion un cylindre, muni à l'extérieur de saillies disposées suivant des plans méridiens, et entre lesquelles s'insèrent des blocs de bois qui débordent un peu le métal. C'est contre ces derniers que s'applique alors la lambourde.

prévenir cet effet, on retire l'un après l'autre les plats-coins, en les soulageant par l'introduction d'une *agrappe à picoter,* instrument de fer qui a la forme d'une pyramide à base carrée très aiguë [1]. Cette dernière supportant pour son propre compte la tension établie entre la trousse et la lambourde, le plat-coin devient libre et l'on peut le retirer. On le réintroduit à l'instant même sens dessus dessous, en lui en juxtaposant un second la tête en haut, et enfonçant le tout avec la masse. Ces deux angles égaux étant placés dans une situation alterne-interne, assurent le parallélisme des deux côtés qui ne sont pas en coïncidence. Les forces normales à ces côtés se trouvent dès lors en prolongement, et n'exercent plus aucune tendance au déversement.

Quand cette double ceinture de plats-coins est installée entre la trousse et la lambourde, elle détermine le serrage le plus énergique suivant les directions radiales, mais non pas encore dans le sens tangentiel. Pour obtenir ce dernier effet, on enfonce entre les couples de plats-coins des picots carrés, en préparant préalablement leur emplacement avec l'agrappe.

A ce moment, on recèpe toutes les têtes de picots dans le plan horizontal de la trousse, puis on enfonce de toutes parts, dans les moindres interstices et dans le corps même des coins, l'agrappe en fer, et, à sa suite, des picots de chêne séchés au four. Ce bois, pénétré par l'eau, se gonflera en ajoutant encore au serrage. On ne cesse ce picotage que lorsqu'il devient absolument impossible de faire pénétrer nulle part l'agrappe. Il peut entrer ainsi environ 3000 picots, coins, plats-coins, dans une trousse présentant 4 mètres de diamètre dans œuvre. De nouveau, l'on recèpe toutes les têtes de picots, et l'on pose une seconde trousse picotée sur la première [2]. Si celle-ci a pris un peu de déversement, on prépare les bois de la seconde avec un angle alterne-interne égal, de manière à assurer l'horizontalité de son plan supérieur, qui doit servir d'assiette à la colonne de cuvelage [3].

[1] Il est très essentiel de ne pas abandonner, dans le picotage, de tronçon d'agrappe brisée. En se détruisant avec le temps par la rouille, il ouvrirait un passage à l'eau.

[2] Parfois même un plus grand nombre.

[3] Dans ces opérations minutieuses, chaque détail a une importance essentielle, et rien

318 — Pour élever cette retraite, on assemble successivement les cadres qui la composent, et l'on calfate, avec de l'étoupe goudronnée, tous les joints des voussoirs entre eux et avec ceux du cadre inférieur. C'est l'opération du *brandissage*. On y cloue ensuite des couvre-joints. Au lieu de procéder par cadres distincts, on fait, dans certains cas, chevaucher les uns sur les autres les joints horizontaux, pour établir une liaison plus complète. On obtient ainsi des cuvelages *lozingués*. Dans le même but, on a imaginé de réunir les voussoirs superposés par des broches en fer, qui pénètrent à la fois dans tous les deux; mais cette pratique complique beaucoup les réparations ultérieures.

Comme on a dû, dans le fonçage, se garantir au moyen d'un boisage provisoire, on détruit celui-ci pièce à pièce, au fur et à mesure de la progression du cuvelage. On pilonne derrière les cadres du béton hydraulique, pour unir le bois à la roche, en évitant par là que celle-ci vienne plus tard au contact avec une force vive irrésistible, si on lui laissait des vides à parcourir. En outre, cette colonne de béton sert à isoler les diverses zones de revêtement les unes des autres, et par rapport aux niveaux [1], de manière à faciliter les réparations ultérieures. On pourra, en effet, alors hacher chaque pièce sur place, en se trouvant défendu, en partie du moins, par cette colonne de béton. On a soin, pour qu'il ne soit pas complètement délayé pendant la pose, de pratiquer dans quelques voussoirs des trous de tarière, par lesquels l'eau puisse tamiser, sans stationner par derrière. On aveugle ensuite ces trous avec des chevilles de bois. On peut également disposer sur quelques-uns d'entre eux des tubulures à vis, disposées pour recevoir un mano-

ne saurait dispenser de l'expérience spéciale à acquérir de ce genre de travaux. Le traité de M. Glépin (*De l'établissement des puits de mines dans les terrains ébouleux et aquifères*, 1867, in-4°) peut être considéré comme une monographie de ces difficiles opérations. On consultera également avec fruit les publications suivantes : Lévy, Fonçage des puits de mines à travers les terrains aquifères (*Bull. min.*, 1re, XIV, 231, 401, 607). — Alayrac, Note sur le creusement de la fosse n° 5 de Courrières (*Bull. min.*, 2°, VI). — Chavatte, Creusement des puits de Saint-Saulve (*Bull. min.*, 2°, V). — De Francy (*Annales*, 5°, II).

[1] Cette pratique doit être considérée comme préférable à celle par laquelle, au contraire, on établissait un *renvoi de niveau*, en mettant volontairement tous les niveaux en communication derrière le cuvelage.

mètre, quand on voudra ***tâter les niveaux***, et savoir à quelle pression sont soumises les diverses parties du revêtement.

Au fur et à mesure que le cuvelage s'élève, on laisse monter l'eau presqu'au niveau du travail, en s'échafaudant sur des planchers volants suspendus à des chaînes. D'un côté, cela tend à diminuer la hauteur d'épuisement; mais, surtout, on supprime ainsi, pour les premiers temps de la prise générale de l'ouvrage, la pression hydrostatique à laquelle il aura plus tard à résister, en ayant soin, en ce moment, de la laisser agir aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

319 — Il reste, enfin, à raccorder l'ouvrage avec la trousse picotée sur laquelle repose la retraite précédente. On a eu soin, pour s'approfondir, de laisser sous cette dernière une console de roche suffisante, en s'élargissant en dessous pour reprendre le même diamètre. Quand on parvient, en remontant, à cette corniche, on la détruit successivement, pour faire la place de chacun des derniers cadres. Celui qui arrive au contact de la trousse porte le nom de *clef*. On n'abat pas, du reste, cette corniche d'un seul coup sur toute sa circonférence, mais, au contraire, par portions successives, en comblant immédiatement chacune d'elles par le voussoir correspondant.

Il reste, toutefois, une difficulté spéciale pour le dernier voussoir de la clef, qui est, comme tous les autres, plus large à l'extrados qu'à l'intrados, et doit cependant pouvoir entrer par le vide de l'intrados. On en est quitte pour pratiquer dans la roche un vide, capable de permettre d'introduire cette pièce de biais, et de l'y tourner ensuite, de manière à la ramener en place à l'aide de poignées vissées, que l'on démonte en terminant. On coule, autant que possible, du béton à travers les joints pour combler le vide, et l'on calfate ensuite ces joints.

320 — La pose d'une trousse picotée est un spectacle qui ne manque pas de grandeur. Les hommes travaillent sur tout le périmètre, en aussi grand nombre qu'il est possible d'en employer sans arriver à la confusion. Ils sont souvent dans l'eau jusqu'aux

genoux, et, par moments, jusqu'à la ceinture. Ces *passeurs de niveau* font des postes de quatre heures, qui leur sont payés 5 francs. La pose d'une trousse exige de 24 à 48 heures. Ce travail se fait au bruit des pompes les plus puissantes qu'il soit possible d'installer dans la section des puits. Les venues d'eau se comptent en effet souvent par centaines de mètres cubes à l'heure. On en a constaté 1300 à l'avaleresse n° 5 de Courrières, 1500 à Ciply (Belgique). Des pressions de 30 à 60 mètres peuvent être considérées comme moyennes. Tous les puits d'alimentation du voisinage, destinés

DÉSIGNATION			DÉPENSE		DIAMÈTRE		PROFONDEUR	DURÉE TOTALE
	PUITS	RÉGION	TOTALE	PAR MÈTRE COURANT	FORÉ	UTILE		
			Francs	Francs	Mètres	Mètres	Mètres	Mois
Avaleresses réussies	Freyming	Moselle	3 709 000	21 104	4,50	4,00	175	84
	Carling	Moselle	2 200 000	14 360	5,00	4,08	153	54
	St-Pierre	Nord	1 071 192	6 264	4,50	4,00	151	66
	Thiers	Nord	808 648	6 220	4,75	4,00	65	24
	Marles	Pas-de-Calais	424 755	5 778	4,54	4,00	73	27
	Providence	Westphalie	217 500	870	»	4,50	53	16
	Haveluy	Nord	103 571	1 210	4,50	4,00	43	7
Avaleresses abandonnées	Merlebach	Moselle	3 500 000	23 650	4,50	4,07	148	84
	Ste-Stéphanie	Moselle	2 400 000	10 910	4,70	4,00	110	102
	Malbosc	Gard	1 118 000	8 000	4,50	4,00	138	84
	Falk	Moselle	924 000	17 271	4,70	4,20	53	28
	Lescarpelle, 2	Nord	600 000	25 000	4,50	4,00	25	30

§ 3

FONÇAGE DES PUITS MURAILLÉS

321 — *Coordination des retraites.* — Ce n'est que pour de faibles profondeurs, que l'on exécute d'un seul coup le muraillement d'un puits, du fond à la surface. Ordinairement on le compose de *retraites* distinctes, dont chacune repose sur un rouet-porteur.

aux usages domestiques, se trouvent asséchés dans un rayon assez étendu.

Quand tous les moyens d'action sont épuisés, et n'ont pas réussi à battre les eaux, il reste (n° 135) la ressource de foncer une seconde avaleresse dans le voisinage immédiat de la première. L'entretien d'eau augmente alors comme total, mais sans aller jusqu'au double, tandis qu'on double ainsi l'emplacement disponible.

Rien n'est plus variable que le prix de revient des avaleresses. Le tableau suivant (1) en présente quelques exemples.

AVANCEMENT		VENUE D'EAU	POMPES		NATURE du CUVELAGE	NATURE DU TERRAIN
Mètres par mois	Jours par mètre	Hectolitres par minute	NOMBRE	DIAMÈTRE Mètres		
2,08	14,40	105	4	0,70	Bois	Grès très fissuré et très aquifère.
2,83	10,50	58	4	0,55	Bois et fonte	Grès très fissuré et très aquifère.
1,29	23,13	150	4	0,40	Fonte	Sables mouvants, craie.
2,70	11,08	450	4	0,70	Bois	Sables mouvants, gravier, craie.
2,72	11,02	»	4	0,50	Bois	Craie fissurée, marnes friables.
15,62	1,90	»	»	»	Fonte	Craie.
6,11	4,90	»	»	»	Bois	Craie solide.
1,76	17,20	105	4	0,70	Bois	Grès des Vosges, grès rouge.
1,30	23,19	100	2	0,65	Fonte	Grès très fissuré et très aquifère.
1,87	16,05	125	4	0,50	Fonte	Calcaires, grès, marnes, gypse.
1,90	15,70	100	2	0,70	Bois	Grès très fissuré et très aquifère.
0,71	41,80	600	4	0,50	Bois	Craie fendillée.

Nous devons distinguer plusieurs cas pour la pose de cette roulisse. En premier lieu, elle peut être installée directement sur le fond du puits, ou sur une retraite inférieure de maçonnerie déjà exécutée au-dessous, si la solidité de la roche a permis d'aller jusqu'au fond avant de commencer le revêtement. C'est le cas le plus simple.

(1) Dressé à l'aide des documents insérés par M. Pernolet dans l'Agenda Dunod pour les mines, 1882. 76.

Si l'on a dû commencer le muraillement, avant d'avoir atteint la profondeur définitive, on loge le rouet dans des potelles de la roche, en choisissant pour cela les meilleurs bancs, à moins que l'on puisse se contenter de le colleter au ferme.

Quand on ne peut trouver nulle part de paroi suffisamment solide, on suspend le rouet, à l'aide de longues tringles de fer (fig. 246), à un grand cadre-porteur placé au jour et débordant largement sur la section du puits. Lorsque la retraite du cuvelage de maçonnerie aura été élevée sur ce rouet, et colletée au ferme de toutes parts pour soulager le porteur, on posera plus bas un nouveau rouet, à l'aide de tringles que l'on attache à des corbeaux encastrés dans des potelles. On construira sur cette base une nouvelle retraite et, quand elle sera venue soutenir la roulisse précédente, on pourra débarrasser celle-ci de ses tringles de suspension. On continue ainsi de proche en proche.

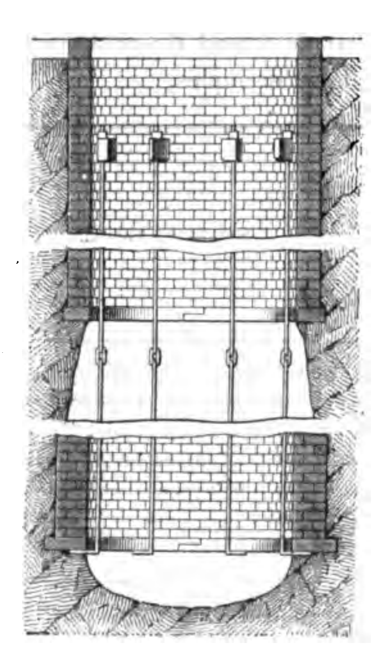


Fig. 246.
Construction d'une retraite de cuvelage.

De toutes manières, on finit par atteindre la base du puits, sur laquelle on établit une fondation solide, pour soutenir définitivement cette immense tour. Si le fond ne présente pas une solidité suffisante, on y bat des pilotis et on y pose un grillage. On peut également le garnir d'une voûte sphérique renversée, très surbaissée.

322 — *Exécution d'une retraite.* — Détaillons maintenant la manière de construire une retraite, depuis son rouet porteur jusqu'à la roulisse supérieure.

Les maçons s'échafaudent successivement, avec des barres de

bois qu'ils logent dans des vides de la maçonnerie, lesquels sont remplis ultérieurement. A la vérité, ce procédé nuit à la netteté de l'ouvrage.

Il est préférable, pour ce motif, quand il s'agit d'un puits d'extraction, de poser de suite les guides en charpente, au fur et à mesure de l'élévation du muraillement. Les moises de ce guidonnage suffisent alors pour s'échafauder.

On peut enfin se servir de planchers volants, supportés par des chaînes, que l'on remonte successivement. Ce plancher a souvent la forme d'un cuveau, muni de rebords d'une hauteur un peu moindre qu'un mètre. On l'appelle la *benne aux réparations*.

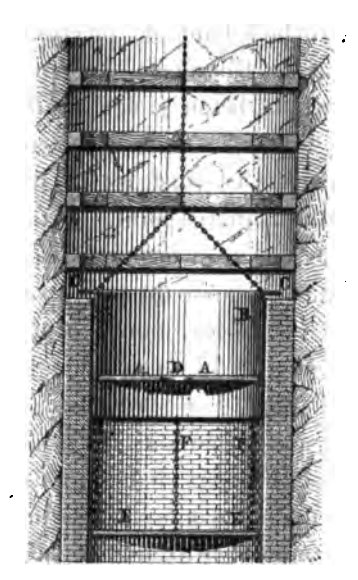


Fig 247. Plancher volant.

Il existe également un système plus perfectionné (fig. 247). Le plancher A est alors muni d'une sorte de tonne cylindrique B, formant gabaris pour la pose du muraillement, et munie de pattes de sûreté C, qui, en cas de rupture des chaînes, retiendraient le système sur le bord de la maçonnerie. L'appareil est à deux étages. Un trou d'homme D, pratiqué dans le premier plancher A, permet de descendre sur le second E, relié au précédent par des tringles ou des chaines F. De cette manière, on procède au récrépissage des joints de la partie qui vient d'être exécutée, pendant qu'une autre équipe travaille en A à déboiser un nouveau cadre [1].

323 — Il est, en effet, nécessaire de démonter successivement le boisage provisoire, si l'on a dû en poser un pendant le fonçage. Quand la nature des parois ne permet pas de supprimer un cadre

[1] Guchez, Notice sur le palier suspendu de M. Plumat (*Annales* des travaux publics de Belgique, XLI).

entier d'un seul coup, on l'enlève morceau par morceau, en remplaçant chacun d'eux par de la maçonnerie. On hachera au besoin chaque pièce, en muraillant par fractions encore moindres. Si, enfin, il demeure impossible de faire disparaître aucune partie du boisage, on en est réduit à inscrire un cylindre de maçonnerie dans le prisme de bois, en bourrant du béton dans tous les intervalles.

Cette couronne de béton existe d'ailleurs dans tous les cas, lors même que l'on parvient à retirer tous les bois. On a soin, avant de la couler, de mettre la maçonnerie en serrage, en la coinçant contre la roche à l'aide de pierres qui forment coin. On ne saurait, pendant ce bétonnage, laisser l'eau stationner sur la tête de l'ouvrage. Le béton se délayerait totalement dans ce bain. On dispose un tuyau de fonte à la base du puits à travers la maçonnerie. Il permet à l'eau de rentrer dans l'intérieur, et l'on en ménage la descente jusqu'à ce point, à travers la masse du béton, à l'aide de planches assemblées en forme de prisme triangulaire, ou d'un tuyau métallique. On laisse du reste, pour les mêmes motifs que dans les puits boisés (n° 318), monter le plan d'eau, de manière qu'il suive de près les progrès du muraillement.

Lorsque l'on arrive à la corniche, que l'on avait ménagée pour plus de sûreté sous la roulisse précédente, on l'abat par portions, prises de deux en deux, en remplaçant chacune d'elles par un segment de maçonnerie. Puis on détruit de même les entre-deux, quand la roulisse se trouve supportée sur ces premiers piliers, dont on complète enfin la continuité en achevant le muraillement.

§ 4

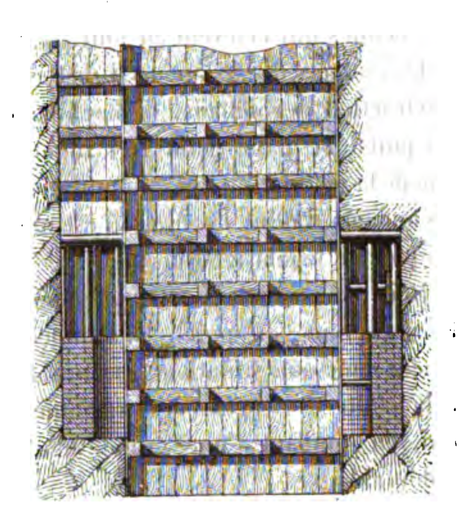
AGRANDISSEMENT D'UN PUITS

324 — *Élargissement d'un puits.* — Deux questions se présentent pour l'agrandissement des puits : l'élargissement de la section, et l'augmentation de la profondeur.

Quand il s'agit d'élargir un puits, on peut suspendre à des chaînes un plancher volant qui en ferme la section, et battre au

large, en revêtant la nouvelle paroi au fur et à mesure de l'approfondissement, comme dans un fonçage ordinaire.

M. Locard avait imaginé, pour un puits de Beaubrun (Loire), de le remplir complètement de fascines, sur lesquelles on travaillait sans aucun danger, et que l'on extrayait, en même temps que les déblais, au fur et à mesure de l'abaissement du chantier.



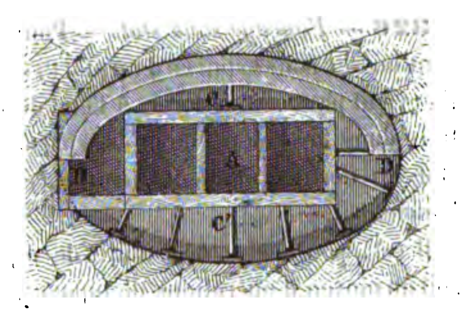


Fig. 248 et 249. Élargissement d'un puits (coupes verticale et horizontale).

On a réussi, à Ougrée, à élargir sous la forme elliptique (fig. 248, 249) la section d'un puits rectangulaire A, sans y interrompre le service. A cet effet, on fonça sur une certaine hauteur, à l'extrémité du grand axe du rectangle, une chambre B jusqu'au sommet de celui de l'ellipse. Puis, de là, on fit partir par C et C′, entre le boisage et la roche, deux couloirs latéraux se rejoignant en D. Les cadres étaient arcboutés au moyen d'étrésillons, pendant que s'exécutait le muraillement. A cet anneau elliptique en succédèrent d'autres, sur toute la hauteur. Puis, quand la nouvelle paroi fut prête, on profita d'un court chômage pour démonter l'ancienne, et le service fut repris presque sans interruption.

325 — *Réavalement d'un puits.* — Pour accroître la profondeur, il se présente deux procédés : le *réavalement* et le *fonçage sous stot.*

Le réavalement n'est autre chose que la reprise du fonçage par les moyens ordinaires. Il faut pour cela établir directement, ou en profitant d'anciens travaux, un réservoir suffisant pour contenir les eaux, puisqu'il s'agit de détruire le puisard. Un tuyau sert alors, pendant les intervalles désignés pour ce service, à déverser le liquide dans des bennes qui l'élèvent au jour.

L'avantage de ce mode direct est de pouvoir employer, pour l'extraction des déblais, la machine déjà installée pour le service du puits. De plus, point très important, on est alors absolument sûr de la rectilignité des guidonnages, que l'on établit en continuant les anciens. Enfin, l'opération est moins compliquée et plus économique que le fonçage sous stot.

Mais, en revanche, cette méthode présente l'inconvénient d'arrêter le service du puits, sans quoi les travailleurs se trouveraient placés dans une situation des plus dangereuses, exposés sans abri à la chute des cages, des wagonnets, ou d'objets, même petits, qui, en tombant d'une grande hauteur, acquièrent une force vive redoutable.

326 — *Fonçage sous stot.* — Pour ces motifs, on préfère souvent laisser sous le puisard un stot [1] d'une épaisseur suffisante [2], et l'on vient par-dessous forer, à l'état de bure, une travée supplémentaire dans le prolongement des parois actuelles, en supprimant le stot au dernier moment, pour raccorder le nouveau puits avec l'ancien [3].

Il est, pour cela, nécessaire de repérer l'axe très exactement, soit au moyen d'opérations de topographie souterraine, soit en crevant le puisard par un coup de sonde exactement central, que l'on rebouche ensuite, mais dont on retrouve la trace au-dessous. On a d'ailleurs la ressource d'y passer un fil à plomb, en détournant

(1) Stock, stot, estau.

(2) C'est là un point extrêmement essentiel. On a vu la chute d'une benne défoncer un stot trop mince, et anéantir les mineurs dans leur chantier. On peut se contenter d'une épaisseur de 4 mètres dans un terrain très solide, mais on fera bien, souvent, d'aller jusqu'à 10 mètres.

(3) H. Glépin, fonçage sous stot (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXI, 1). — Demanet, Fonçage des puits en montant (*Annales* des travaux publics de Belgique, XXVIII, 77).

lès eaux, de manière à donner à l'axe la plus grande précision.

Une fois que l'on est parvenu sous le stot par des voies latérales, on peut suivre, pour le creusement du puits, quatre modes distincts :

1° Le mode descendant, c'est-à-dire la méthode ordinaire de fonçage, avec quelques modifications spéciales sur lesquelles nous reviendrons dans un instant.

2° Le mode montant. On rejoint alors le pied du puits futur, et on l'ouvre de bas en haut en abattant la roche au-dessus de la tête. On y trouve l'avantage de ne pas être gêné par l'eau et d'asseoir la maçonnerie plus aisément ; mais, en même temps, l'inconvénient d'être obligé, après avoir descendu les déblais jusqu'au fond, de les extraire tous de ce niveau. Avec le premier système, au contraire, on n'enlève chaque partie que de son emplacement naturel, ce qui, sur l'ensemble, réduit théoriquement de moitié le travail d'extraction.

Cette seconde méthode se recommande surtout pour le cas où il existe déjà des bures de communication avec le niveau inférieur. S'il faut, au contraire, en creuser un tout exprès, l'opération se trouve chargée par là d'une lourde dépense. On peut au moins recommander pour ce cas, s'il existe quelque puits de service à proximité, de creuser ce bure dans le prolongement de ce dernier, afin d'épargner pour l'avenir un nouveau fonçage sous stot, si l'on arrivait à vouloir approfondir ce puits. On profiterait alors de ce percement, et la dépense se trouverait, en fait, répartie sur deux opérations distinctes.

3° Une troisième méthode consiste à rejoindre, non plus le pied du puits futur, mais un point intermédiaire, et à développer, à partir de là, deux chantiers, l'un montant, l'autre descendant, qui réalisent les deux types précédents. On arrivera ainsi à doubler la rapidité du percement.

4° Dans ce même ordre d'idées, on a, dans certains cas [1], attaqué la hauteur sur un certain nombre de points, en installant pour

[1] Au puits mécanique (Sacré-Madame), à la fosse Renard (Anzin), à Créal (Bessèges), etc.

chacun d'eux une double équipe, comme dans le cas précédent. On réalise de cette manière le maximum d'activité. Il n'est pas inutile de faire remarquer l'analogie de cet artifice avec celui qui consiste à attaquer un tunnel à l'aide de puits, en plusieurs points intermédiaires (n° 298).

327 — On voit qu'en définitive, ces diverses méthodes ne comportent que deux types distincts de chantiers : *montant* ou *descendant.*

Le chantier montant peut lui-même s'établir de deux manières différentes.

Le premier système est celui des *planchers en chicane* (fig. 250, 251). Ils permettent aux hommes de monter de l'un à l'autre, et aux matériaux de descendre en sens contraire.

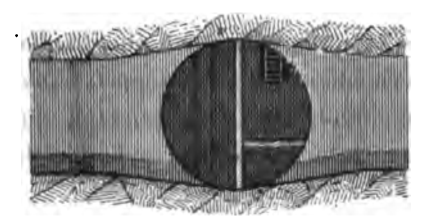
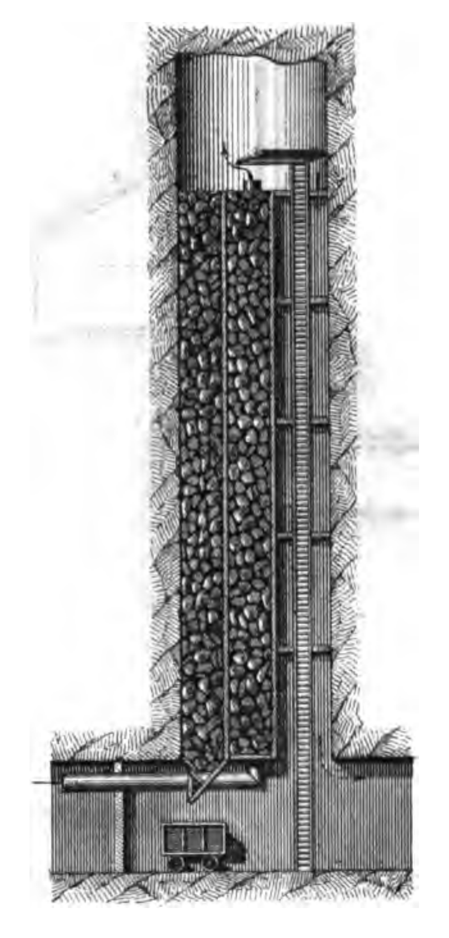


Fig. 250 et 251. Fonçage sous stot. Ouvrage montant, planchers en chicane (coupes verticale et horizontale).

Dans la *méthode de remblai*, on cloisonne le puits, comme l'indiquent les figures 252, 253. Un segment reste libre pour le passage des hommes et la montée de l'air, avec un compartiment qui sert à la descente du courant. La partie intermédiaire est remblayée à plein, et forme un échafaudage commode pour le travail. Enfin l'autre segment est

remblayé également, mais au-dessus d'une trappe placée à la partie inférieure, de manière à constituer une *cheminée* pour écouler ces matières dans les wagonnets (n° 443). On se débarrasse par cette voie de out l'excès des matériaux, en ne conservant que ce qui est nécessaire pour exhausser le remblai. Celui-ci est destiné à s'écouler à son tour par le même chemin, mais seulement lorsque l'opération est terminée, et que l'on déboise les compartiments du haut en bas.



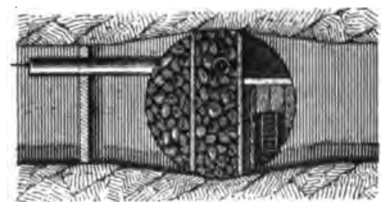


Fig. 252 et 253. Fonçage sous stot. Ouvrage montant, sur remblai (coupes verticale et horizontale).

328 — Quant au chantier descendant, il a reçu également diverses dispositions.

A Aniche, on a effectué un percement sous stot, en évitant toute installation de moteur intérieur. Un câble reliait le fonçage avec une machine d'extraction placée au jour, à l'aide de quatre renvois de mouvement, pour passer du puits de service dans une courte galerie, dans un petit bure latéral, dans une seconde galerie de raccord, et enfin dans le sous-stot. On pouvait craindre de sérieuses difficultés pour un fonctionnement placé dans de telles conditions, avec un mécanicien

éloigné du théâtre des manœuvres. Mais une organisation atten-

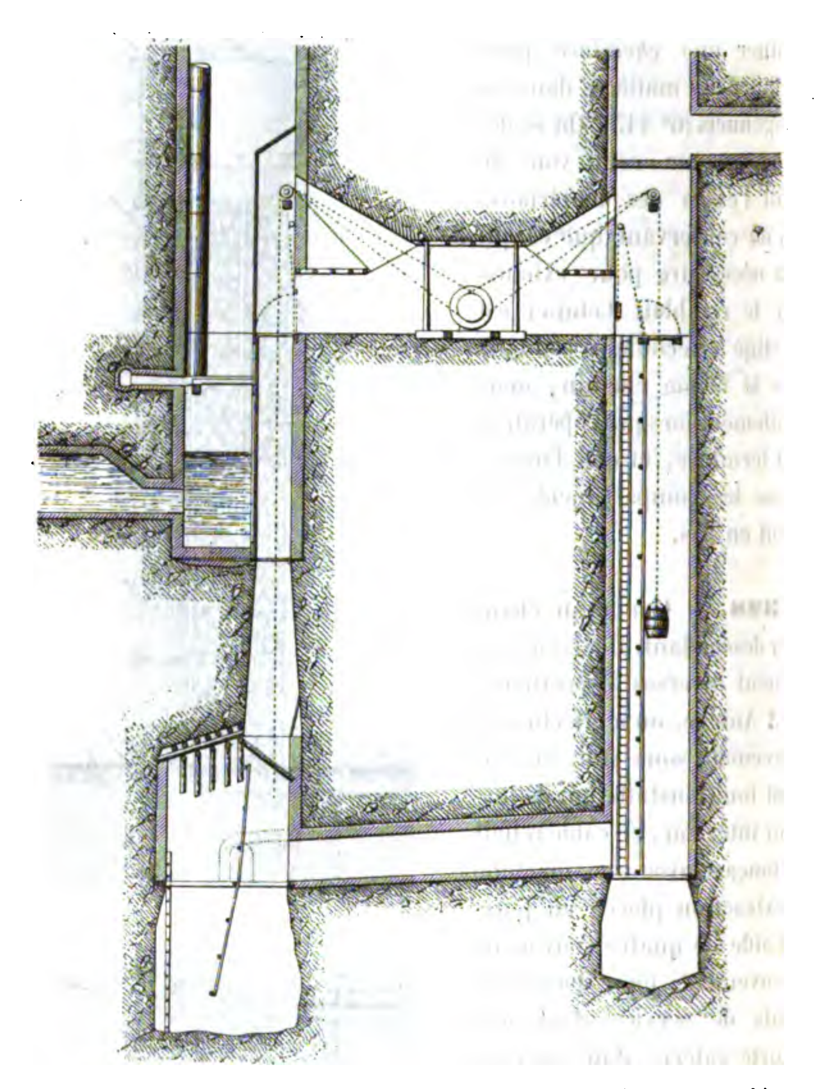


Fig. 254. Fonçage sous stot. Ouvrage descendant, avec bure latéral (coupe verticale).

tive des signaux, et un grand soin des détails du mécanisme, ont permis la réussite des opérations.

329 — Un procédé différent a été suivi à Marles (Pas-de-Ca

lais) [1], et à Saint-Étienne [2], avec un moteur intérieur, à vapeur ou à air comprimé (fig. 254). On commence par détourner les eaux pendant quelques jours, dans un réservoir spécial pratiqué à cet effet. On vide le puisard avec les bennes. On le cloisonne au moyen d'un mur en briques, qui le sépare en deux segments, de manière à permettre d'effectuer, dans le plus grand, la rentrée des eaux. Le compartiment est alors approfondi en forme de goyot. Au delà de l'épaisseur jugée nécessaire pour le stot, il s'épanouit pour reprendre la section normale du puits. En cet endroit, débouche la galerie de communication qui, à l'aide d'un bure et d'une galerie supérieure, se relie au puits principal, au niveau de l'accrochage du fond. Le moteur est installé dans cette recoupe. Il actionne un treuil et deux chaînes, destinés à élever les bennes, d'une part dans le fonçage, jusqu'à la galerie inférieure, et, d'un autre côté, dans le bure, d'une galerie à l'autre. Ces bennes, détachées du câble, sont placées sur de petits trucs, qui circulent dans les galeries et dans un couloir tournant conduisant à l'accrochage, d'où les matières sont envoyées au jour. Une trappe ferme l'orifice du fonçage, pour éviter les accidents. Elle livre passage à la benne montante,

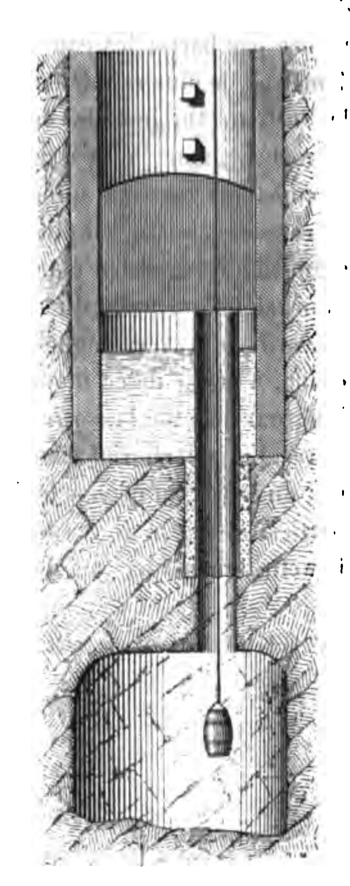


Fig. 255. Fonçage sous stot. Ouvrage descendant, procédé Lisbet (coupe verticale).

(1) Delcommune, note sur un nouveau mode d'approfondissement sous stot (*Bull. min.*, 2e, VII, 819).

(2) Desjoyeaux, *CRM*, 1879, 78

et on la referme pour que le truc puisse y prendre place, et recevoir la benne que le mécanicien redescend.

330 — Je citerai enfin le procédé Lisbet ([1]), très bien étudié dans tous ses détails pour ce genre d'opérations (fig. 255). On commence par barrer les eaux et vider le puisard. On approfondit de 4 mètres, le plus rapidement possible, sur un segment du cercle de la section. On installe deux tubes de fonte : l'un de 1 mètre de diamètre, pour le passage de la benne et des hommes qui y prennent place les uns après les autres ; le second, plus petit, destiné au retour d'air. On remplit alors de béton le reste de la section de ce segment, après s'être élargi au-dessous de la corniche, jusqu'aux dimensions normales du réavalement. On ramène les eaux dans le puisard, à travers lequel les tuyaux s'élèvent au-dessus du liquide. A partir de ce moment, on travaille sous le stot. Un moteur intérieur effectue la sortie des matières, avec une benne non équilibrée. Un petit chariot vient de la galerie latérale se placer sur l'orifice du tube. On déclanche le fond de la benne, qui s'ouvre en deux parties, et les matières tombent dans le wagonnet, qui, par une bowette tournante, va rejoindre l'accrochage.

([1]) Lisbet, foncement sous stot (*Bull. min.*, 2e, I, 1).

CHAPITRE XV

FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU PLEIN

—

§ 1

PROCÉDÉ DE LA TROUSSE COUPANTE

381 — *Principe du fonçage à niveau plein.* — On risque, avec les méthodes qui font l'objet du chapitre précédent, d'avoir à dominer de telles venues d'eau, que tous les efforts y échouent, et que l'on est obligé d'abandonner le fonçage. En vue de cet obstacle, on a imaginé des procédés extrêmement remarquables, qui permettent d'effectuer le percement sans avoir besoin de sortir toute l'eau.

Lors même que l'on ne se trouverait pas en face de l'impossibilité absolue de passer *à niveau bas*, le principe du fonçage *à niveau plein* s'applique avec beaucoup d'utilité au point de vue de la dépense, puisqu'il supprime l'épuisement, dont les frais sont en raison du temps, du débit et de la hauteur, et qu'il affranchit des difficultés relatives à cette opération.

Il présente encore un autre avantage, en empêchant l'affouillement du massif environnant par les torrents souterrains, qui alimentent la venue d'eau dans le puits, en y entraînant toutes les parties meubles. Ces excavations, dont les unes sont inconnues et inaccessibles, et les autres, plus voisines, fort imparfaitement comblées à l'aide de fascines, provoquent plus tard des mouvements du terrain, propres à compromettre la solidité du cuvelage et à en amener la ruine, comme j'en citerai plus tard des exemples.

Le cuvelage lui-même, exécuté avec les nouveaux procédés, à loisir, et en dehors des conditions critiques que nous avons décrites (n° 320), pourra présenter une plus grande perfection.

Nous rattacherons à ce principe quatre méthodes distinctes : le système de la trousse coupante, et les procédés Triger, Guibal, Chaudron.

332 — *Procédé de la trousse coupante.* — C'est à dessein que je place en premier lieu cette méthode ([1]), comme un trait-d'union avec les précédentes, car elle s'applique également, le plus souvent même de beaucoup, à niveau bas. Mais on s'en est servi également à niveau plein, sous le nom de procédé Wolski, en travaillant uniquement du dehors, avec des outils analogues à ceux du sondage.

On emploie la trousse coupante pour traverser les terrains que rend impraticables leur manque de consistance. Le cuvelage se construit alors hors de terre par anneaux successifs, comme on le fait pour le tubage des trous de sonde (n° 103), au fur et à mesure que l'on détermine son enfoncement dans le sein de la terre. Pour aider cette descente, on munit la couronne inférieure d'un *sabot tranchant* (fig. 256), qui coupe le terrain, en le refoulant, d'après le sens de son biseau, vers l'intérieur, d'où on l'extrait directement ou avec des dragues. L'enfoncement est d'ailleurs provoqué par le poids de la trousse, et du cuvelage qu'on y élève, en bois, en maçonnerie ou en tôle, avec des cornières intérieures destinées à donner du raide au métal. Au besoin, on y ajoute, au moyen d'une *chaise*, la pesanteur des pompes, et même des poids supplémentaires.

Lorsque le système s'applique à partir de la surface, on commence par pratiquer un puits de quelques mètres, muraillé et

([1]) Alairac, Notice sur le creusement de la fosse n° 5 de Courrières, *Bull. min.*, 2e, VI, 541. — Von Dobenck, Fonçage à travers le sable boulant de Hansa, *Rev. univ. d. m. et u.*, VIII, 386. — Haucart, Creusement à travers les sables boulants de Bois-des-Vallées, *Annales* des travaux publics de Belgique, VIII, 249. — Creusement d'un puits à travers les terrains aquifères de Rheinpreussen, *Ibidem*, XXI, 291. — Peltzer et Grenier, Creusement d'un puits à travers les terrains aquifères de Ruhrort, *Ibidem*, XXII, 249. — *Preuss. Zeitschrift*, VII, B, 194.

garni de longuerines de bois parfaitement dressées pour assurer la verticalité. Si, au contraire, un premier approfondissement a pu avoir lieu avec les moyens ordinaires, lorsqu'il devient nécessaire d'appliquer le nouveau procédé, on dispose sous le cuvelage une vingtaine de vis, que l'on tourne de manière à déterminer, à l'aide de ce point fixe, l'enfoncement de la trousse. Quand on a gagné un peu de terrain, l'on desserre les vis une à une, en établissant, en regard de chacune d'elles, une pièce de cadre ou un segment de maçonnerie.

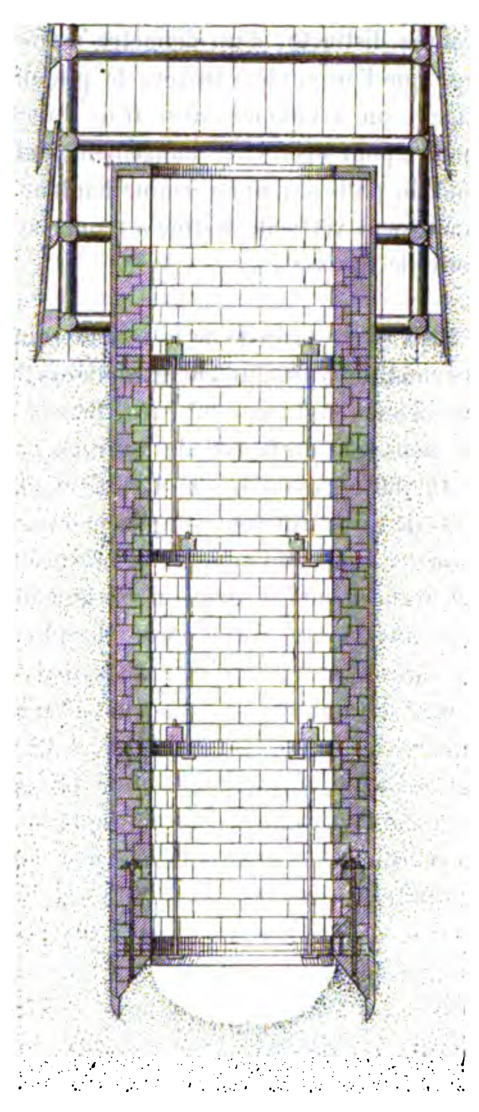


Fig. 256. Fonçage à la trousse coupante.

La préoccupation capitale doit être de conserver la verticalité. On la contrôle incessamment à l'aide de fils à plomb. Lorsque la trousse tend à se déverser d'un certain côté, on soutient sur des tiges, reliées à la surface, la partie qui prend cette accélération, et l'on agit du côté opposé, en affouillant par dessous et pressant sur le sommet, de manière à redresser le cuvelage. Si,

malgré tous les efforts, le puits se dévie définitivement, on arrête le mouvement de la tour, et l'on recommence une nouvelle opération à son intérieur, à partir de ce point, en y glissant une trousse distincte, d'un diamètre moindre, surmontée d'un cuvelage que l'on enfile à travers le premier. A Ghlin (nord du Borinage), on a enfoncé ainsi trois tubes concentriques. On commence, pour opérer ce changement, par combler avec du béton le fond du puits sur une certaine hauteur, et l'on y fore un cylindre exactement vertical, destiné à guider avec une grande précision la nouvelle trousse.

333 — Le procédé de la trousse coupante a été employé dans des conditions absolument exceptionnelles, lors du percement du tunnel sous la Tamise (n° 308). Brunel a coulé à ses deux extrémités, dans le lit du fleuve, des tours en maçonnerie, sur une hauteur de $12^m,80$ un diamètre de $15^m,25$ et une épaisseur de $0^m,90$. Les puits de mine diffèrent complètement de ce type ; ils présentent un diamètre beaucoup moindre et une profondeur plus grande.

L'avancement est parfois d'une lenteur désespérante. A Ruhrort, on a mis 18 ans à s'enfoncer de 130 mètres. Inversement, on rencontre des facilités inattendues, mais qui sont souvent un inconvénient d'un autre genre, car elles déterminent un affaissement très rapide, capable de tout disloquer. A Rheinpreussen, la trousse est descendue presque subitement de $11^m,30$.

Quand l'opération est terminée, et le cuvelage assis sur sa base, il est ordinairement trop fatigué pour offrir des chances suffisantes de durée. On ne le considère alors que comme une défense provisoire, et l'on élève avec soin, à son intérieur, une tour définitive en maçonnerie.

Bien des fois, on a été obligé de s'arrêter à bout de ressources, comme cela est arrivé, par exemple, à Rheinpreussen, après huit ans d'efforts et une dépense de 2 625 000 fr. Mais on a repris la suite de l'opération, à l'aide du procédé Triger.

§ 2

PROCÉDÉ TRIGER

334 — *Appareil.* — La méthode remarquable que l'on doit à Triger ([1]) se rattache directement à la précédente. On conserve l'appareil de la trousse coupante, et on lui adjoint l'emploi de l'air comprimé. On arrive ainsi à tenir les eaux basses, en leur opposant une tension égale à la pression hydrostatique qui est due à leur niveau extérieur. Les hommes travaillent alors au pied de la trousse, sans pourtant que l'on ait besoin, en principe, d'extraire aucune quantité d'eau.

Un cuvelage métallique, muni d'un sabot tranchant, s'accroît à la partie supérieure par l'adjonction de viroles successives (fig. 257). Des cloisons placées dans ce cuvelage y ménagent deux compartiments fermés. Le premier, appelé la *chambre de travail,* se trouve au fond du puits, et constamment soumis à la tension du compresseur, dont il reçoit l'air par un tube débouchant au plafond. Le second compartiment porte le nom de *sas à air.* On le met en équilibre de pression, tantôt avec la chambre de travail, tantôt avec l'extérieur. On lui fournit l'air comprimé au moyen d'une tubulure insérée sur le tuyau précédent. Ce sas forme une partie essentielle de l'appareil. Sans la présence de cette écluse, il serait impossible d'établir de communication entre l'extérieur et la chambre de travail. Celle-ci se viderait en un instant, les eaux y monteraient et noieraient les hommes. Deux trappes, qui ne seront jamais ouvertes à la fois, servent à ménager ces communications alternatives.

([1]) *Annales,* 6e, X, 407. — Althaus, projet d'application de l'air comprimé à des fonçages de quelque profondeur, *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XV. 328. — Creusement par l'air comprimé à Rheinpreussen, *Ibidem*, 1re, XXIX, 164. — Trasenster, Emploi de l'air comprimé pour le fonçage des puits dans les terrains aquifères (*Annales* des travaux publics de Belgique, VI, 5). — Bouhy, Creusement à travers les sables mouvants de Strépy Bracquégnies (*Ibidem*, VII, 35). — Bougnet, Creusement des puits au moyen de l'air comprimé (*Ibidem*, XVI, 307). — Simoins, Creusement à travers les sables boulants de la Louvière par l'air comprimé (*Ibidem*, XVIII, 5). — Hermel, *Accidents produits par l'usage des chambres à air comprimé dans les travaux souterrains*, in-8e, 1863.

Elles peuvent être à coulisse; mais si on les fait à charnière, elles doivent s'ouvrir de dehors en dedans, puisque c'est de ce côté que se trouve la pression.

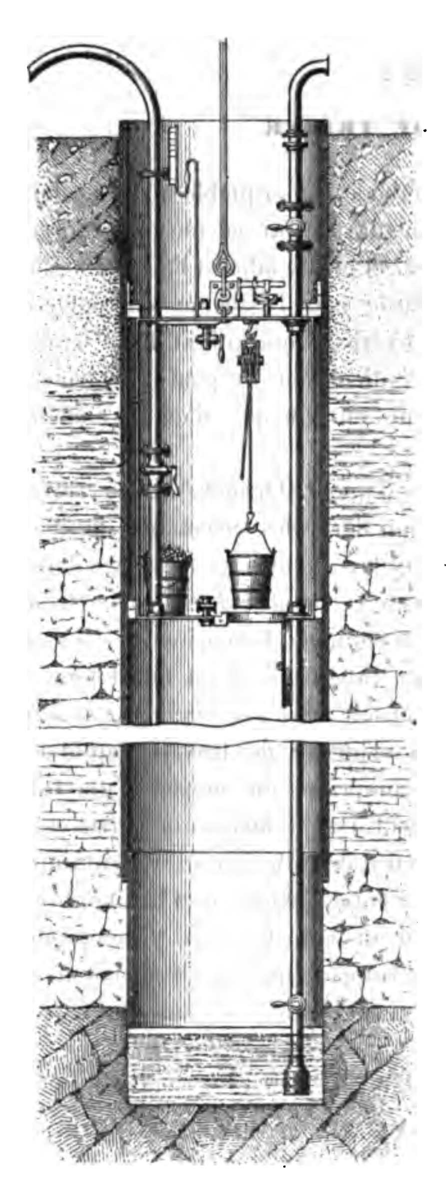


Fig. 257. Fonçage Triger.

335 — Tantôt le sas se trouve au sommet de la colonne, tantôt on le place immédiatement au-dessus de la chambre de travail. Cette dernière disposition offre l'avantage de rester immuable pendant toute la durée du fonçage, tandis qu'avec la première, il faut démonter le sas chaque fois que l'on veut ajouter une virole, et l'assembler de nouveau à cette dernière.

Cependant, c'est en général cet emplacement que l'on préfère, afin que les hommes, une fois déséclusés, puissent quitter le chantier immédiatement, sans avoir encore à effectuer la montée des échelles, après que le corps a subi cette épreuve physiologique.

On a d'ailleurs cherché à affranchir la situation supérieure du sas, de l'inconvénient qui a été signalé tout à l'heure, en le fixant invariablement, et assemblant au-dessous de lui, en forme

de viroles, des pannéaux capables de passer par les trous d'homme. On enfonce alors le cuvelage, ainsi accru d'une couronne, à l'aide de vis de pression, qui prennent leur point d'appui sous le sas.

336 — Quand vient le moment d'enfoncer la trousse, les hommes travaillent sur le périmètre du sabot tranchant, pour faciliter sa pénétration dans le terrain. Mais, comme la profondeur est nécessairement faible, puisque chaque décamètre d'eau surcharge d'une atmosphère les organes de la respiration, le cuvelage ne présente pas ordinairement un poids suffisant. On y supplée avec les vis dont il vient d'être parlé, ou avec des presses hydrauliques. On a encore la ressource de faire sortir les hommes au moment décisif, et de laisser échapper l'air, pour supprimer la pression qui tend à soulever le système, et à s'opposer à son enfoncement. On trouve en outre, à cet artifice, l'avantage que cette rentrée de l'eau apporte avec elle une certaine quantité de matières meubles, qui contribuent d'autant à l'affouillement.

337 — On a réussi à reculer dans une certaine mesure, au moyen d'un procédé ingénieux, la limite étroite de profondeur, imposée à ce procédé par les conditions de l'organisme.

Il consiste à laisser suinter l'eau d'une manière permanente dans la chambre de travail, en mollissant la pression. En même temps, pour ne pas être noyé dans le chantier, on y dispose un petit puisard, où se rassemble cette eau, et dans lequel plonge un tuyau spécial, qui débouche dans l'atmosphère en se courbant en col de cygne au sommet du cuvelage. Bien que la pression à la base de ce tube soit maintenue, ainsi que je viens de le dire, inférieure à celle qui correspondrait à sa hauteur manométrique, l'eau s'y élève cependant d'une manière continue. En effet, dans cet état dynamique, substitué aux conditions statiques, et régi dès lors, non plus par les lois de l'hydrostatique, mais par le théorème de Bernouilli (n° 129, équation 1), la pression doit diminuer sur le parcours, et d'autant plus que la vitesse sera plus accusée.

On remarquera d'ailleurs que, si l'on voulait continuer à raisonner par approximation d'après les principes de l'hydrostatique, en

considérant le tuyau ascensionnel comme un tube manométrique, il faudrait tenir compte de cette circonstance, qu'il est rempli, non pas d'eau proprement dite, mais d'une sorte d'émulsion, produite par le mélange de ce liquide avec l'air qui filtre sous l'effort de la pression intérieure. De là, pour le mélange, une densité moyenne moindre que l'unité, et qui exigera une hauteur supérieure à 10 mètres, pour équilibrer une pression d'une atmosphère.

Outre l'avantage décisif de l'abaissement de la pression, l'on trouve encore à ce procédé l'utilité de faire, comme dans le sondage au diamant (n° 115), charrier par le courant une certaine quantité de limon ou de sable fin, dont on se trouve ainsi débarrassé sans manœuvres spéciales. Il est bien vrai que c'est au prix d'une certaine dépense d'air, que l'on ne saurait considérer comme d'un emploi économique. Il faut, toutefois, tenir compte de cette circonstance, que la sortie de ces matières d'après la méthode ordinaire nécessiterait une dépense analogue, par la vidange du sas. Enfin l'on évite, en laissant suinter doucement l'eau du terrain, la déperdition d'air qui s'y produirait en sens inverse, si l'on tenait la pression surélevée pour prévenir toute rentrée; l'équilibre ne pouvant évidemment être observé avec une rigueur absolue.

338 — *Effets physiologiques.* — Malgré l'emploi de cet artifice, on n'en reste pas moins limité à un chiffre de profondeur déterminé par les nécessités physiologiques. A la vérité, il ne faut pas perdre de vue, que cette hauteur ne se comptera qu'à partir du niveau des eaux, et non pas de la surface du sol. Or il peut se faire qu'on ne les rencontre qu'à une profondeur notable, atteinte par les moyens ordinaires. C'est donc, à proprement parler, la hauteur de la passée aquifère, et non la profondeur même du fonçage, qui se trouve ainsi restreinte.

On a, dans des cas extrêmes, réalisé quatre atmosphères et demie effectives. Mais ces excès ont amené plusieurs fois des accidents mortels. On n'en a jamais observé, au contraire, au-dessous de deux atmosphères effectives. C'est, par suite, le point auquel il conviendra de s'arrêter.

Toutes les parties de l'appareil sont préalablement éprouvées à

une pression double du maximum présumé. Il y a lieu, en effet, de redouter des chocs de pression, occasionnés par un enfoncement brusque du cuvelage. On a eu ainsi, à Douchy et à Rheinpreussen, des exemples d'explosions. Il faut avoir soin, en outre, d'établir deux soupapes de sûreté, réglées pour la tension limite. On surveille également la pression au moyen de manomètres, dont l'un se trouve à la disposition des ouvriers, un autre placé sur le compresseur, et un troisième organisé comme sifflet d'alarme.

339 — La compression de l'air dans les poumons n'est pourtant pas, par elle-même, nécessairement nuisible dès le début; car quelques médecins ont même été jusqu'à proposer son application au traitement de certaines affections bronchiques. Mais cet état de choses n'en est pas moins anormal, et devient rapidement fâcheux. On rencontre des organisations qui ne peuvent, à aucun degré, supporter ce genre de travail.

C'est surtout dans les oreilles que se manifeste immédiatement, en général, un malaise, qui peut devenir une souffrance très aiguë. Cette sensation s'accompagne également d'une surdité temporaire, que l'on doit combattre en effectuant périodiquement le mouvement de la déglutition de la salive [1]. Le timbre de la voix est changé, il perd ses notes élevées et devient nasillard. Il est impossible de siffler. Le pouls n'est pas modifié.

Un point très essentiel à fixer avec une grande attention, dans chaque chantier, est la durée employée à écluser et à décomprimer le personnel. Trop courte, elle entraînera des lésions dans les organes respiratoires. Trop prolongée, elle expose à des fluxions de poitrine des hommes en transpiration, subissant dans l'immobilité le refroidissement intense qui accompagne la détente de l'air. M. Paul Bert recommande une durée de douze minutes par atmosphère pour la décompression. On s'attachera, en outre, à combattre les refroidissements, en obligeant les hommes à passer des vêtements chauds

[1] Cette surdité relative est appréciable, même pour la simple descente dans les puits de mine de quelque hauteur, en raison du changement de pression qu'elle détermine, et l'on y remédie de la même manière.

dans le sas, et en les recevant pendant quelques instants dans une salle chauffée, à leur sortie.

A la longue, ce régime risque de déterminer des douleurs articulaires. On éloigne cette éventualité à l'aide de frictions alcooliques, et surtout d'une excellente hygiène, en évitant tous les excès.

340 — Indépendamment des influences exercées sur l'organisme, il faut mentionner les modifications subies par la combustion. Elle est notablement activée par la condensation de l'oxygène; les lampes, les bougies brûlent plus vite, et répandent des produits asphyxiants plus abondants. On préfère, pour cette raison, éclairer la chambre de travail comme les entreponts des navires, avec des lentilles de verre qui laissent tamiser la lumière de réflecteurs. Un rayon électrique remplira très bien cet office pendant la nuit.

Les mèches soufrées sont absolument proscrites, car elles dégagent une grande abondance d'acide sulfureux. Il en est de même pour l'amadou, qui devient d'une excessive combustibilité, et peut communiquer le feu aux vêtements. On n'emploie que l'étoupille de sûreté pour tirer les coups de mine, quand il y a lieu de faire sauter des blocs, qui font obstacle à l'enfoncement.

341 — Quant aux résultats économiques du procédé Triger, ils sont éminemment variables d'un cas à l'autre. Le tableau suivant en présente trois exemples. Dans les deux premiers, l'air comprimé n'a été introduit que pour remédier à l'arrêt du procédé ordinaire de la trousse coupante, et le chiffre de la dépense se rapporte à l'ensemble de l'opération [1].

[1] On pourra rapprocher ce tableau de celui que nous avons donné ci-dessus (n° 320), pour la méthode directe des avaleresses, et qui est puisé aux mêmes sources.

DÉSIGNATION		DÉPENSE		DIAMÈTRE		PROFONDEUR	DURÉE	AVANCEMENT		NATURE DU TERRAIN
PUITS	RÉGION	TOTALE	PAR MÈTRE COURANT	FORÉ	UTILE		TOTALE	Mètres par mois	Jours par mètre	
		Francs	Francs	Mètres	Mètres	Mètres	Mois			
Havré	Belgique	2 800 000	73 684	4,00	»	38,0	48	1,91	15,1	Sables coulants, craie aquifère.
Rheinpreussen	Prusse rhénane	2 625 000	33 439	4,71	»	78,5	102	»	»	Sables du Rhin.
La Louvière	Belgique	109 896	8 138	4,50	3,94	13,5	2	7,00	4,30	Sables mouvants.

342 — Indépendamment du fonçage des puits, on peut citer, comme application de l'air comprimé aux travaux souterrains, le percement des tunnels [1]. On l'a employé pour le tunnel sous-marin de New-York à Jersey-City [2]. Un sas était placé à l'entrée. L'air comprimé, en tension variable d'une atmosphère effective à une atmosphère et demie, tenait les eaux en respect pendant le percement, et la pose rapide de panneaux métalliques de 0^m,0063 d'épaisseur sur un profil de 6^m,10 de largeur et 6^m,70 de hauteur. On construisait ensuite à loisir un revêtement de briques de 0^m,60 d'épaisseur. La largeur totale de l'Hudson est de 1700 mètres. Le transit doit se faire à l'aide de deux tunnels semblables.

[1] On sait en outre quels services a rendus l'emploi de l'air comprimé, pour l'exécution des fondations des grands travaux publics. Mais ce sujet sortirait de notre cadre.

Il n'en est pas de même d'un dernier mode d'application : le *scaphandre*, dont l'emploi se rattache directement aux travaux de mines, car il a été utilisé pour les réparations de puits sous l'eau. Je me bornerai en ce moment à cette mention, car nous aurons occasion d'y revenir dans le chapitre XLVIII.

[2] *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 20 juin 1880, 188.

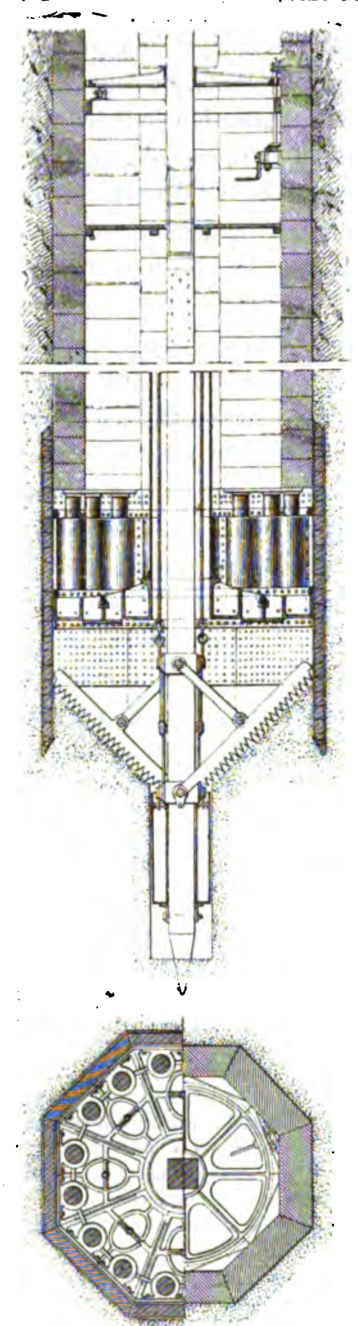


Fig. 258 et 259. Fonçage Guibal (coupes verticale et horizontale).

§ 3

MÉTHODE GUIBAL

343 — Le procédé Guibal (¹) se rattache directement aux précédents, car il fait intervenir comme eux une trousse coupante (fig. 258, 259); seulement l'ouvrier ne se trouve plus jamais, de sa personne, en contact avec le terrain. Il n'agit pour l'affouiller, qu'à partir de la surface, à l'aide des procédés du sondage. On introduit par un tube central des outils élargisseurs qui s'épanouissent au-dessous d'un bouclier, de manière à y corroder le terrain par leur mouvement de rotation. Des cloches à soupapes pénètrent également à travers ce tube, pour extraire les matières. Cependant ce moyen ne figure qu'à titre de secours, car on agit aussi par refoulement.

Le principe du procédé peut être défini d'un seul mot, en disant que c'est celui de Brunel (n° 308), appliqué dans le sens vertical.

Le sabot tranchant dont il vient d'être parlé, est muni d'un fourreau métallique, qui fait corps avec un bouclier annulaire. Au

(¹) Ponson, *Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, V. 37.

milieu de ce dernier s'élève le tube central, qui monte jusqu'au-dessus du niveau que les eaux prennent librement à son intérieur. Ce tube s'accroît par la partie supérieure, à l'aide de viroles successives, que l'on y assemble au fur et à mesure de l'enfoncement. Le fourreau extérieur s'appuie, d'autre part, sur l'extrados de la partie déjà exécutée du cuvelage. Il en est séparé par un joint en caoutchouc. On obtient ainsi un isolement hermétique de la capacité annulaire, comprise entre le cuvelage et le tube central. Elle forme dès lors un chantier, qui a pour plancher de travail le bouclier. L'emploi du caoutchouc est convenablement indiqué pour cette circonstance, puisqu'il ne s'échauffe pas, et qu'il n'est soumis qu'à un glissement très limité, égal en longueur à la traversée des terrains aquifères.

344 — La chambre de travail renferme seize presses hydrauliques, arc-boutées d'une part contre le bouclier octogonal, et de l'autre sous le cuvelage. Quand le terrain est convenablement affouillé au-dessous, et que l'on veut déterminer l'enfoncement, les hommes remontent au jour, et l'on admet l'eau dans l'espace annulaire, afin d'équilibrer la pression hydrostatique extérieure, de manière que le bouclier, cessant de la supporter par dessous, n'ait plus à lutter que contre la résistance propre du terrain. On actionne les presses à partir de la surface, à l'aide de tuyaux de renvoi. On continue, pendant ce temps, les dragages à travers le tube.

Lorsque l'enfoncement est jugé suffisant, on épuise l'eau de l'espace annulaire. Les ouvriers y redescendent, et posent un nouveau cadre pièce par pièce, en remplaçant successivement chaque presse par un voussoir, sous lequel ils l'arc-boutent de nouveau après y avoir fait rentrer son piston (1).

On remarquera que nous trouvons pour la première fois ici,

(1) Ce procédé n'est cité ici que pour mémoire, car il n'a été appliqué qu'une fois (au puits Bonne-Espérance, Péronne, centre belge), et pour aboutir à un insuccès. Mais ce résultat ne saurait suffire pour faire condamner en principe cette ingénieuse méthode, et il convient de suspendre le jugement. La traversée du mauvais terrain s'est en effet bien effectuée, et l'échec a été dû seulement à la rencontre d'un banc dur très incliné, qui eût nécessité, pour l'assiette du cuvelage, des dépenses supplémentaires, devant lesquelles la Compagnie a reculé.

dans toute sa rigueur, la réalisation du niveau plein, au moins pour la région centrale. Il nous reste à décrire un dernier procédé, avec lequel le niveau reste libre dans toute l'étendue de la section, pendant le forage.

§ 4

PROCÉDÉ CHAUDRON

345 — *Tube d'équilibre.* — Combes avait, dès 1844, mis en avant l'idée de foncer les puits par le sondage ([1]). En 1847, Kind à Styring (Moselle), et Mulot à Hénin-Liétard (Pas-de-Calais), commencèrent à la mettre en pratique ([2]). Leurs forages réussirent, mais l'opération n'en resta pas moins stérile, car il fut impossible d'établir un cuvelage étanche, et, par conséquent, d'épuiser la capacité du puits. C'est en 1853 que M. Chaudron, ingénieur du Corps des mines belge, apporta à cette méthode son complément décisif, par un procédé aussi élégant que pratique pour l'établissement du cuvelage. L'ensemble de la méthode est connu sous le nom de procédé Kind-Chaudron ([3]).

On y doit distinguer deux parties essentielles : 1° le sondage, que nous avons déjà décrit avec des développements sur lesquels nous n'avons plus à revenir (chap. V), et, 2° l'établissement du cuvelage, qu'il nous reste à envisager ici (fig. 260, 261).

Le cuvelage s'accroît à son sommet par l'adjonction de viroles successives. Il est soutenu par six tringles de suspension, filetées en vis à leur partie supérieure, et passant dans des écrous supportés par une charpente. En tournant ces derniers, on fait descendre les tringles d'une longueur égale à la hauteur d'une virole. Seulement

([1]) Combes, *Traité d'exploitation des mines*, I, 280.

([2]), *Bull. min.*, 1re, VII.

([3]) *Annales*, 5e, XVIII, 435; 6e, XI, 1 et 47; XVI, 371. — *Bull. min.*, 2e, VI, 479, Lévy; XI, 767, Chavatte. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XX, 116; XXXIII, 53. — *Annales* des travaux publics de Belgique, XII, 327, *Notice* sur le procédé Kind, par Chaudron; XVIII. 169; XXV, 45; XXVI, 135, XXVII, 135; XXX, 77. — *Le système Kind-Chaudron*, Bruxelles, 1878, par J. Chaudron. — *Notice* sur le système Chaudron, Liège, 1873, par Allwin. — *La houille*, Warington Smith, note M par Maurice.

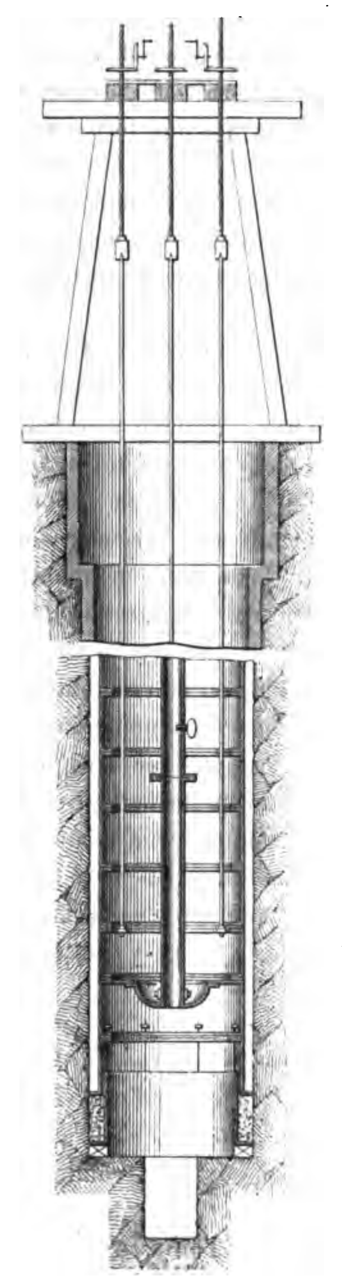


Fig. 260. Fonçage Chaudron (coupe verticale).

il est bien clair que, sans l'emploi de moyens détournés, il n'y aurait ni tringles ni charpentes qui fussent capables de supporter des cuvelages métalliques, tels que ceux dont on verra plus loin les dimensions (n° 355). C'est ici que s'introduit l'une des deux créations essentielles de M. Chaudron : le *tube d'équilibre.*

346 — Supposons que le cuvelage soit complètement fermé par une cuvette à la partie inférieure.

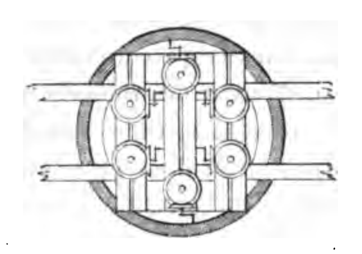


Fig. 261. Fonçage Chaudron (plan horizontal).

Ce sera alors, sauf la forme, un *navire*, qui finira par flotter librement sur l'eau, quand il s'y sera enfoncé de la quantité que l'on appelle le *déplacement*, et qui se mesure par un nombre de mètres cubes, égal au nombre de tonnes de son poids. Arrivé à ce point, le cuvelage refusera d'enfoncer, mais il n'exercera plus aucune tension sur les tringles.

Pour le faire filer plus bas, il

faudra le charger de *lest*. Celui-ci consistera naturellement en une certaine quantité d'eau, que l'on versera successivement dans l'intérieur, de manière à déterminer cet enfoncement progressif. Disons de suite qu'au lieu de laisser un corps d'une forme aussi instable flotter purement et simplement, en risquant de se déverser sur le côté, l'on a soin d'ajouter au lest une certaine quantité constante, d'une vingtaine ou une trentaine de tonnes, qui sera supportée par les tiges, de manière à assurer la verticalité du système.

Telle est la conception théorique que M. Chaudron a réalisée au moyen de son tube d'équilibre. La cuvette dont nous venons de parler existe, en effet, mais réduite à une couronne annulaire. Elle est évidée en son centre, sur lequel s'élève un tube, analogue à celui de l'appareil Guibal (n° 343). Ce tuyau s'allonge par le haut, comme le cuvelage lui-même. L'eau y prend encore son niveau naturel. Il suffit donc, pour l'admettre en quantité voulue dans l'espace annulaire, en vue d'accroître progressivement le lest, d'ouvrir des robinets ménagés à travers les viroles successives de ce tube. On a soin de refermer chacun de ces robinets, au moment où il va être submergé par l'eau qui monte dans la couronne. On préfère, du reste, dans la crainte que quelqu'un d'entre eux ne vienne à se rouvrir accidentellement, ce qui déterminerait dans le navire une pure et simple voie d'eau qui le ferait couler à pic, remplacer les robinets par des vis d'obturation. On emploie également le siphon, pour déverser l'eau de l'intérieur à l'extérieur du tube d'équilibre, sans y pratiquer aucune ouverture.

347 — Lorsque les écrous ont été tournés, de manière à déterminer un enfoncement du cuvelage égal à la hauteur d'une virole, il devient nécessaire d'ajouter une couronne de plus à son sommet. Mais les tiges de suspension s'y opposent. On commence donc par soutenir le cuvelage sur une clef de retenue. On démonte les tringles, on amène la virole, que l'on assemble à la dernière, et l'on y rattache les tiges qui ont été remontées dans leurs écrous. Il ne reste plus alors qu'à enlever légèrement tout

l'ensemble, pour dégager la clef, que l'on retire, après quoi l'on reprend la descente.

Le système arrive ainsi au fond. Mais rien n'assure encore, dans ce qui précède, l'étanchéité du joint avec la roche. C'est ici que se place la seconde conception essentielle de M. Chaudron, celle de la *boîte à mousse.*

348 — *Boîte à mousse.* — On a commencé, avant la descente, par disposer à la base du cuvelage une virole spéciale, appelée *numéro zéro,* et faisant partie du système qui porte le tube d'équilibre. A un niveau inférieur à celui de la cuvette, se trouve une cornière annulaire, à travers laquelle sont passés des boulons suspendus par leurs têtes, mais susceptibles de remonter, quand ils y seront sollicités par-dessous. Pour le moment, ils soutiennent la boîte à mousse, c'est-à-dire un cylindre d'un diamètre un peu moindre que celui du cuvelage, et capable d'y glisser en remontant, s'il s'y trouve provoqué. Entre son collet inférieur et celui du numéro zéro, on a accumulé une quantité suffisante de mousse comprimée et retenue sur le pourtour par un filet, pour empêcher qu'elle ne se disperse pendant la descente.

Quand le cuvelage arrive au fond, c'est la boîte à mousse qui porte la première. La colonne, que rien n'arrête encore, continue son mouvement en comprimant la mousse. Ce n'est que lorsque cette dernière aura acquis un degré de tension élastique, capable d'équilibrer ce poids gigantesque, que celui-ci s'arrêtera. On comprend d'après cela que la mousse pénètre dans les moindres interstices, de manière à établir une ceinture absolument étanche, semblable à celle des trousses picotées.

349 — On a eu soin, pendant le sondage, de pratiquer avec un trépan plus petit, et sur la hauteur exactement convenable, la place de la boîte à mousse. Il importe, en effet, que celle-ci présente un diamètre un peu moindre que celui des collets, afin que la mousse ne frotte pas contre la roche pendant la descente, ce qui tendrait à l'éparpiller. Mais il est en outre nécessaire, qu'une fois arrivée à destination, elle pénètre très exactement dans son logement, afin de

se trouver de suite au contact de la paroi, sans avoir à la rejoindre par un parcours horizontal, qui retarderait d'autant sa mise en tension. On a soin également, au moment où la boite va atteindre le fond, de descendre préalablement, par le tube d'équilibre, un cureur-élargisseur qui, en s'épanouissant au-dessous d'elle, balaye très nettement l'emplacement sur lequel elle va se poser, afin d'éviter des porte-à-faux. On améliore encore les conditions de ce contact, en doublant son fond métallique avec un cadre en bois de chêne.

350 — *Bétonnage.* — Cet état de choses ne saurait encore être considéré que comme provisoire. Il est nécessaire d'unir le cuvelage à la roche, dont il se trouve séparé par un jeu, nécessaire pour éviter les frottements à la descente. On y parvient à l'aide du bétonnage.

Le béton doit être composé d'une manière attentive. Si sa prise était trop rapide, la masse se durcirait pendant sa descente, et l'on n'obtiendrait qu'un blocage dont les diverses parties ne présenteraient aucune liaison. Si le phénomène était trop lent, on aurait au fond une masse liquide, incessamment délayée par les instruments et l'arrivée de nouvelles quantités de béton. La prise serait donc encore impossible, ou très imparfaite. On emploie le ciment anglais avec une proportion double de chacun des trois éléments suivants : strass d'Andernach, chaux hydraulique et sable.

Le mélange ne saurait être versé du haut en bas, car il se délayerait complètement pendant le trajet. On le descend dans des cylindres appelés *cuillers*. Au fond, se trouve un piston, par-dessus lequel on tasse du béton, en le serrant assez pour qu'il ne s'échappe pas de lui-même, quand on tient la cuiller renversée : c'est dans cette situation qu'on la descend au fond. Lorsqu'elle y est parvenue, on sonne plusieurs fois, de manière à chasser le contenu au dehors, tant par sa propre masse que par celle du piston.

351 — On laisse écouler un temps suffisant pour assurer complètement la prise de la masse dans toute la hauteur, en continuant à maintenir le cuvelage à l'aide de son système de suspension. On démonte ensuite ce dernier, puis successivement les diverses viroles

du tube d'équilibre, en épuisant avec des tonneaux la quantité d'eau qui remplit le puits, et qui est dorénavant isolée des niveaux. On parvient ainsi au fond, et l'on démonte enfin la cuvette, de manière à rendre le puits entièrement libre.

Comme tout l'avenir de l'exploitation resterait dès lors suspendu à la conservation de la mousse, on établit à loisir, au-dessous du cuvelage, des trousses picotées, avec le même soin, et plus de facilités, que dans les conditions ordinaires, puisque l'on n'est pas gêné par les eaux. On relie ces trousses au revêtement métallique, à l'aide de panneaux assemblés avec un brandissage soigné, ou en mettant du plomb dans tous les joints.

L'opération est alors complètement terminée.

352 — *Variantes.* — On a rencontré, au puits n° 4 de Sarre-et-Moselle, une circonstance spéciale qui pourrait se reproduire dans d'autres fonçages, et mérite d'être mentionnée ici.

Une faille aquifère, amenant les eaux des morts-terrains jusque dans le terrain houiller, coupait le plan de base du fonçage dans l'intérieur de la section du puits. Dès lors, la ceinture latérale étanche devenait insuffisante, puisque l'eau continuait à sourdre du fond. On se trouva averti de cette complication par cette circonstance, que l'épuisement ne faisait pas baisser le niveau des eaux. On ne pouvait d'ailleurs en accuser l'insuffisance de la boîte à mousse, ou une rupture de la colonne, puisque l'examen attentif du liquide n'y décelait, ni mousse en suspension, ni chaux en dissolution, provenant du béton.

M. Lévy fit alors reprendre le sondage sur un diamètre moindre, en le prolongeant jusqu'à un niveau assez bas, pour pouvoir espérer que l'inclinaison du plan de la faille aurait rejeté hors du cercle sa trace sur ce nouveau plan horizontal. On redescendit un second cuvelage, à l'intérieur de l'ancien, sur cette hauteur. La boîte à mousse fonctionna, et le succès couronna l'opération.

353 — Une autre circonstance extrêmement critique s'est présentée à Marles [1].

[1] *CRM*, janvier 1877, 7, Delcommune.

Un défaut d'étanchéité s'était déclaré dans le joint de la colonne, et admettait l'eau dans le cuvelage avec une vitesse toujours croissante. Le niveau montait de $0^m,30$ à l'heure. Les tirants de suspension se trouvèrent surchargés, et l'un d'eux se rompit. Il restait encore douze viroles à poser, ce qui, avec le mode ordinaire, représentait le travail de trois jours. En présence d'une catastrophe inévitable, les ingénieurs prirent un parti héroïque. On jugea que l'on pouvait, en supprimant la complication des tirants, et se bornant au seul travail d'assemblage, monter la colonne assez vite, pour maintenir à peu près constante la distance entre l'eau et le bord supérieur du cuvelage flottant. On dételа donc tous les tirants, en abandonnant le système à lui-même. Les douze anneaux furent posés en deux jours, et le succès fut complet.

354 — MM. Somzée, Tillier et Passelecq ont imaginé une modification radicale de la méthode [1].

Dans ce nouveau procédé, les anneaux deviennent indépendants, et descendent l'un après l'autre, suspendus à des chaînes, à l'aide de crochets qui se retirent d'eux-mêmes, au moment où la pièce arrive au fond. Des biseaux de caoutchouc, adaptés sous les collets inférieurs, se compriment sous le poids, de manière à assurer l'étanchéité. Trois œillets sont pratiqués dans des oreilles intérieures. Ils servent à guider avec précision les anneaux, le long d'autant de tiges verticales, pour assurer leur coïncidence.

Les inventeurs attendent de cette manière de procéder plus de vitesse, et, par suite, moins d'éboulements dans les parois; la facilité de pouvoir passer des cureurs à tout moment de la descente; et une certaine flexibilité de l'ensemble. La pratique seule pourrait décider ce qu'il y a de fondé dans ces espérances.

355 — *Données économiques.* — L'admirable méthode de M. Chaudron a fait un chemin rapide, elle est devenue aujourd'hui tout à fait classique. Elle diminue souvent, dans une proportion importante, les frais de fonçage auxquels on se trouverait conduit,

[1] *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, I, 447, Laguesse.

avec la méthode ordinaire des avaleresses. Elle permet de passer, là où cette dernière resterait en échec. Elle place le sondage dans des conditions plus avantageuses que la méthode Guibal, en opérant, non plus à travers un tube, mais sur toute la section; non plus avec des élargisseurs de grattage, mais avec le trépan, qui est l'instrument de sondage par excellence. Elle affranchit des limites de profondeurs imposées au système Triger.

On fait couramment, aujourd'hui, des cuvelages de cent mètres de hauteur, au-dessous du premier niveau aquifère rencontré. Un certain nombre ont dépassé cette limite ; celui de Maurage (Belgique) a 190 mètres. Les puits de Ghlin nécessiteront des colonnes de 300 mètres et de 1800 tonnes.

Quant au diamètre, il reste compris en général entre 3 et 4 mètres, bien qu'on ait atteint une fois 5 mètres, dans le bassin de Newcastle [1].

Le tableau suivant, rapproché de ceux que nous avons déjà donnés (nos 320 et 341), fournira des éléments de comparaison pour le prix de revient et la vitesse d'avancement.

[1] *CRM*, janvier, 1877, 11.

TABLEAU.

DÉSIGNATION		DÉPENSE		DIAMÈTRE		PROFONDEUR	DURÉE	AVANCEMENT		NATURE DU TERRAIN
PUITS	RÉGION	TOTALE	PAR MÈTRE COURANT	FORÉ	UTILE		TOTALE	Mètres par mois	Jours par mètre	
		Francs	Francs	Mètres	Mètres	Mètres	Mois			
Lhôpital, n° 2	Moselle	401 871	2 810	4,25	3,40	159	36	4,42	6,70	Grès des Vosges et nouv. grès r^{ge}.
Rothausen, n° 2	Westphalie	328 618	3 199	4,25	3,65	103	25	4,02	7,46	Marnes blanches.
Lhôpital, n° 1	Moselle	240 181	1 669	2,50	1,80	159	42	3,97	7,40	Grès des Vosges et nouv. grès r^{ge}.
Saint-Waast	Belgique	209 351	3 100	4,25	3,63	98	29	3,38	8,87	Marnes crayeuses et sables.
Liévin, n° 3	Pas-de-Calais	198 000	2 226	4,30	3,65	89	12	7,41	3,93	Craie solide, argiles.
Lescarpelle, n° 1	Nord	175 044	1 731	2,85	2,20	101	11	9,90	3,03	Sables et craie.
Rothausen, n° 1	Westphalie	169 748	1 720	2,52	1,90	99	25	4,04	7,42	Marnes vertes.
Sainte-Barbe	Belgique	150 446	2 752	4,25	3,65	55	18	5,03	5,90	Argiles, marnes, sables boulants.
Sainte-Marie	Belgique	64 458	1 036	2,32	1,82	105	13	8,00	3,70	»

QUATRIÈME PARTIE

MÉTHODES D'EXPLOITATION

CHAPITRE I

AMÉNAGEMENT GÉNÉRAL

§ 1

DÉTERMINATION DES PUITS

356 — *Généralités.* — Aucune branche de l'industrie ne comporte, à un plus haut degré que celle des mines, les vues d'avenir et l'organisation de longue haleine. Si certaines exploitations ne sont appelées par la nature du gisement qu'à une durée éphémère, d'autres, au contraire, encore en activité, remontent à l'antiquité la plus reculée. En même temps que l'intensité de la production tend partout à s'accroître de jour en jour, la majoration progressive de certains prix et de la main-d'œuvre conduit à apporter un ordre plus attentif dans les travaux souterrains. La hâte de réaliser de faciles bénéfices, l'inadvertance des premières dispositions, peuvent léguer aux générations futures l'incendie, l'inondation, la perte totale d'une partie du gîte. Il convient d'*exploiter en bon père de famille.* L'intérêt bien entendu des Compagnies, celui de la fortune publique, y sont également engagés. La réforme législative

de 1810 est entrée à cet égard dans un esprit nouveau, dont les fécondes conséquences se déroulent encore sous nos yeux. En fixant la perpétuité de la propriété souterraine, le législateur a amené l'exploitant à viser de plus en plus à ne rien perdre, là où, trop souvent, chacun ne songeait anciennement qu'à se faire rapidement la meilleure part, sans se préoccuper des conséquences d'un tel égoïsme pour l'enlèvement du reste du gîte.

Tous les jours, on voit s'accuser davantage la tendance à prendre plus au sérieux la méthode d'exploitation adoptée, et à en imposer l'application d'une manière étroite. « Une méthode médiocre, mais pratiquement observée présente, en effet, plus d'avantages qu'une méthode théoriquement excellente, mais imparfaitement appliquée (¹). » L'époque actuelle a vu se continuer le développement du mouvement si remarquable, commencé depuis une quarantaine d'années, pour perfectionner ces méthodes, les adapter aussi exactement que possible aux conditions des divers gisements, et, par une conséquence naturelle, les varier de plus en plus. Il s'en faut de beaucoup, aujourd'hui, que leur nomenclature soit aussi réduite et aussi simple qu'elle l'était autrefois. Le stimulant énergique de la concurrence étrangère, de la part de voisins plus favorisés que nous par les conditions naturelles, a puissamment agi sur nos ingénieurs, et a eu pour résultat de constituer, pour la précision des méthodes, une *école française*, qui n'a rien à redouter de la comparaison avec toutes les autres.

357 — L'organisation d'une mine comprend deux ordres de travaux. On a, en premier lieu, à créer l'agencement général des organes permanents de fonctionnement, dont les procédés de construction ont fait l'objet de la troisième partie de ce cours. Il faut, en second lieu, mettre d'une manière rationnelle ces moyens d'ac-

(¹) Devillaine (*Notice sur la Société anonyme des houillères de Montrambert et la Béraudière*, 1878, Saint-Etienne, p. 72). M. Harmet s'exprime de même : « On pourrait dire que toutes les méthodes d'exploitation sont bonnes, pourvu qu'elles soient régulièrement et rigoureusement appliquées, et si elles satisfont aux trois conditions suivantes : bon aménagement et épuisement complet du gîte, protection et sûreté de l'ouvrier, enfin prix de revient réduit. » (Exploitation des couches puissantes, *Bull. min.* 1re. IV.

tion en rapports avec des chantiers toujours renouvelés, s'éteignant sur un point pour se développer sur un autre, de manière à finir par embrasser successivement toutes les parties du gîte. La première partie de cette question constitue l'*aménagement général* de la mine, dont les figures 262, 263, 264 présentent quelques exemples, et la seconde sa *méthode d'exploitation*.

C'est cette dernière surtout, qui a pour résultat de diversifier les différentes mines, en les rattachant à un certain nombre de types essentiels, qu'il serait impossible de faire rentrer les uns dans les autres. Au contraire, l'aménagement général offre un caractère beaucoup plus uniforme, et ne présente guère que des différences locales, qui n'affectent que dans une faible mesure ses principes généraux. C'est

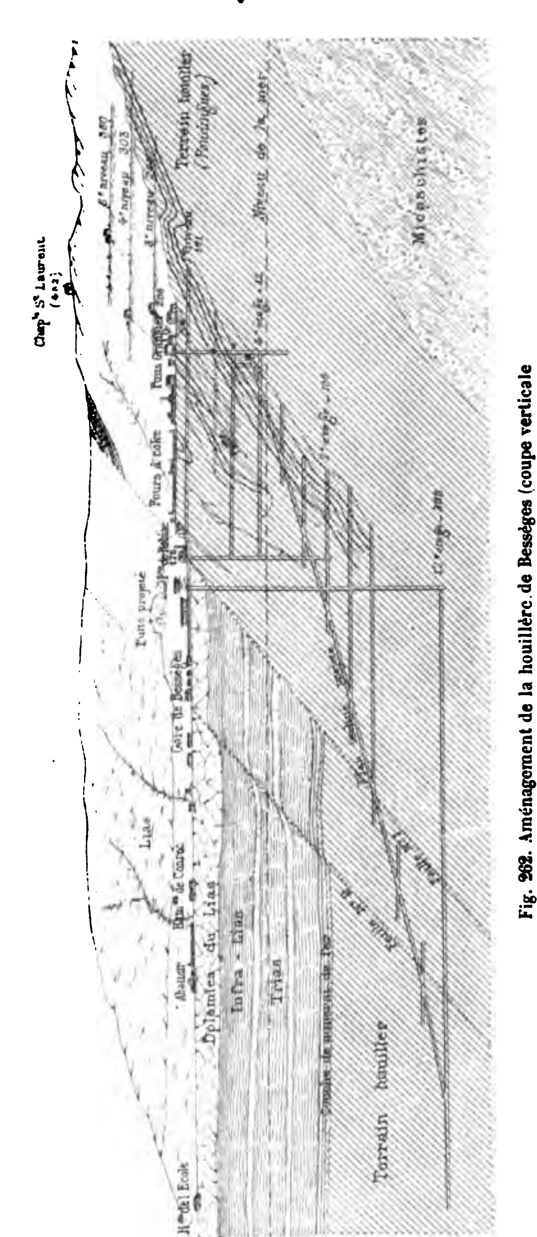


Fig. 262. Aménagement de la houillère de Bességes (coupe verticale

à les faire connaître que nous consacrerons le présent chapitre.

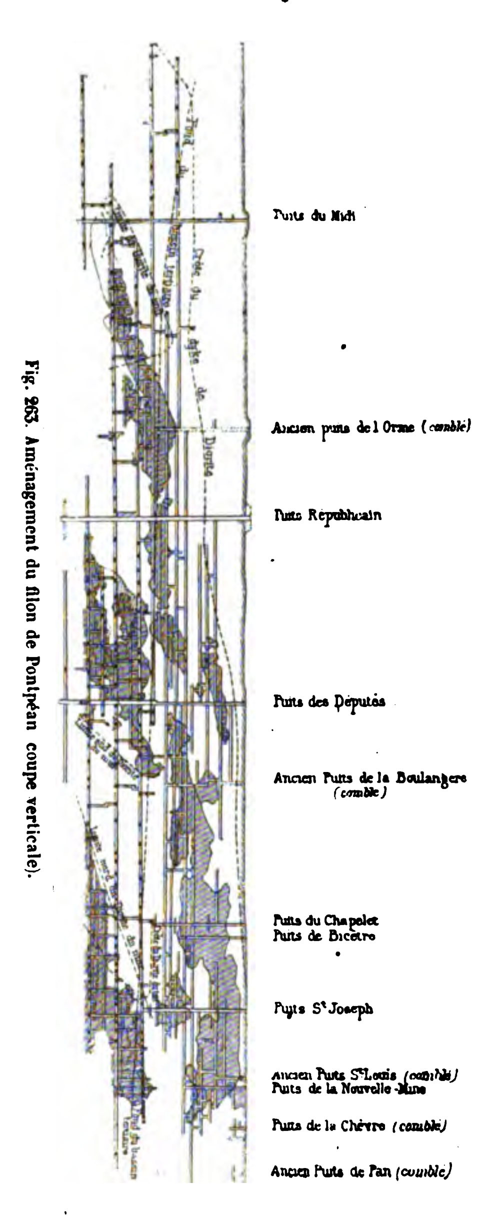
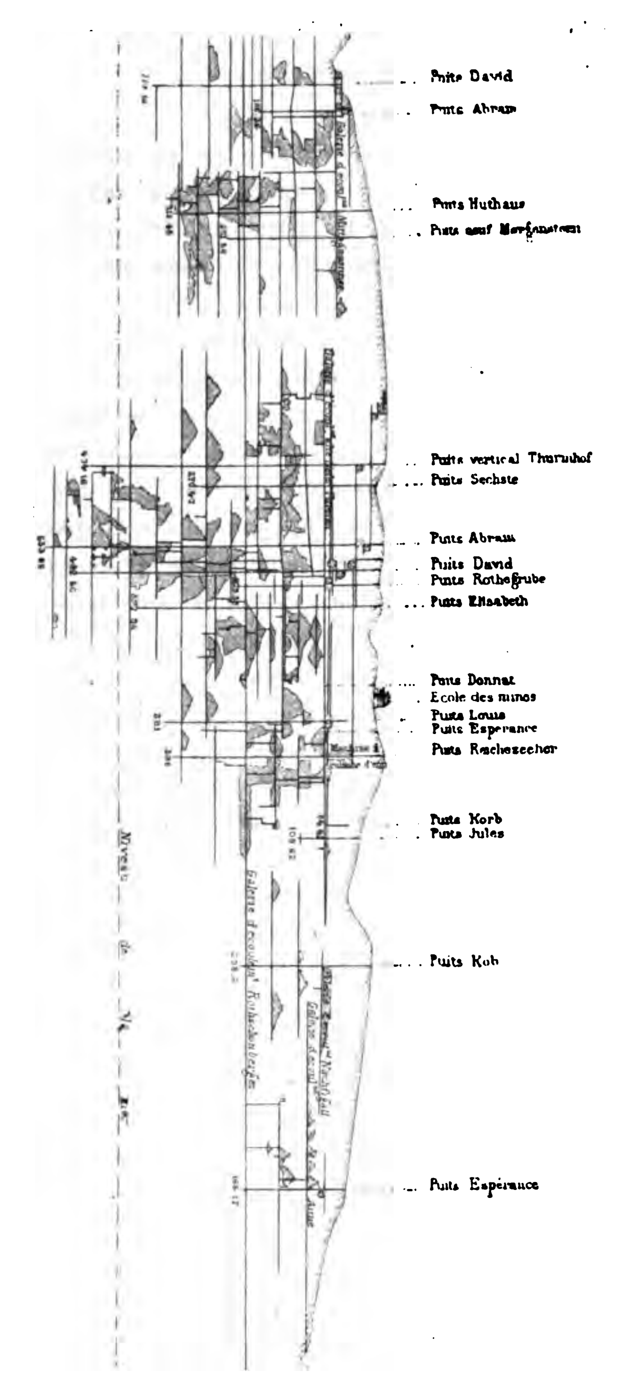
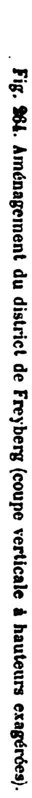


Fig. 263. Aménagement du filon de Pontpéan (coupe verticale).

On ne devra pas oublier qu'il est impossible, dans la pratique, de distinguer d'une manière absolue les deux périodes d'aménagement et d'exploitation. Après la phase proprement dite des recherches, suivie de la concession, vient celle de l'aménagement fondamental, et de la mise en valeur d'un certain nombre de quartiers. Mais, pendant que l'on procède au dépècement de ces derniers, la période des *travaux préparatoires* ne s'arrête pas pour cela. Il en faut exécuter à temps une certaine quantité d'autres, pour que les diverses parties de l'exploitation se succèdent les unes aux autres sans interruption, et dans un ordre rationnel. Toutefois, ce serait une faute d'imposer à l'organisation de la mine l'exécution intempestive d'aménagements prématurés, qui ne pourraient que se détériorer avec le temps, tout en grevant le budget, de l'intérêt de capitaux improductifs. L'avenir d'une affaire dépend




Fig. 364. Aménagement du district de Freyberg (coupe verticale à hauteurs exagérées).

en partie de l'intelligence et de l'à-propos qui président à l'organisation de ces travaux préparatoires.

358 — *Nombre des points d'accès.* — Avant tout, il s'agit d'atteindre le gisement par un plus ou moins grand nombre d'avenues, qui seront, suivant les circonstances, des galeries ou des puits. Nous supposerons, pour fixer les idées, qu'il s'agisse de ces derniers.

En augmentant leur nombre, on développera évidemment les facilités d'exploitation, et la sécurité de la population souterraine ; mais comme on accroît, en même temps, la dépense, dans une mesure considérable, il y a lieu de faire, dans chaque cas, une étude des plus attentives de cette question.

Une mine ne peut jamais être considérée comme arrivée à un état normal de développement, tant qu'elle ne possède qu'un seul puits. La loi anglaise et la loi belge, plus autoritaires en cela que la législation française, en exigent au moins deux [1], avec un intervalle suffisamment important, pour que ces deux débouchés soient assurés en toute circonstance de rester distincts (n° 313), et avec des échelles de sûreté dans tous les deux. Au contraire, les puits uniques abondent encore en Saxe. Or bien des éventualités peuvent, dans ces conditions, condamner à une mort affreuse le personnel entier de la mine.

L'incendie peut dévorer les boisages du puits, et asphyxier les hommes, en soutirant l'oxygène des travaux, et les remplissant de fumées irrespirables. C'est ce qui est arrivé au tunnel du Hauenstein, près d'Olten (Suisse), où soixante hommes ont perdu la vie.

L'éboulement des parois peut détruire le puits, et rendre impossible de porter secours aux mineurs emprisonnés. A Lugan (Saxe), le puits Neue Fundgrube s'est effondré ainsi le 1er juillet 1867, et cent ouvriers sont morts de faim dans l'intérieur.

A la mine de Hartley (Newcastle), le 16 janvier 1862, le balancier de la machine à vapeur s'est brisé ; l'une des moitiés est tom-

[1] L'administration belge impose même, dans les mines à *dégagements instantanés de grisou*, trois puits, débouchant à l'air libre et hors des bâtiments des machines.

bée dans le puits, et l'a désorganisé de telle sorte que tout le personnel a été perdu. 5 hommes furent tués sur le coup, et 199 autres retrouvés morts, ainsi que 40 chevaux.

Un coup de grisou peut faire sauter les cloisons que l'on établit dans un puits unique, pour y séparer l'entrée et la sortie de l'air. Un pareil accident rendrait toute ventilation impossible, pour permettre de procéder au sauvetage.

Il résulte de ces considérations que si, en raison des énormes dépenses qu'occasionnent les fonçages effectués dans certains districts, tels que le nord de la France, on y peut tolérer provisoirement le puits unique avec goyot d'aérage, ce ne saurait être que sous la condition de compléter cet aménagement, aussitôt que les circonstances le permettront, par un second fonçage. De plus, même avec un puits unique, il convient d'en détacher le double aérage et de ramifier l'un des courants dans un beurtia distinct, dès que l'on parvient au terrain houiller, au sein duquel les percements sont incomparablement moins dispendieux qu'à travers les morts-terrains.

359 — Avec le minimum classique de deux puits, on établira essentiellement l'entrée de l'air dans l'un, et sa sortie par l'autre. Quant à la répartition des autres services, nous avons dit (n° 313) qu'il y règne un certain degré d'arbitraire.

Au delà de cette limite minimum, le nombre des puits devra tendre à décroître quand la profondeur viendra à augmenter [1]. Cet élément

[1] On peut s'en rendre compte par un calcul fort simple. Supposons, en effet, pour fixer les idées, un champ d'exploitation horizontal et carré, ayant pour côté l, et situé à la profondeur H. Partageons-le, à l'état de damier, en n^2 carrés distincts, ayant pour côté $\frac{l}{n}$. Nous placerons, par la pensée, un puits dans chacun de ces quartiers.

Les dépenses se rapportent à deux ordres différents : les percements et les transports.

Pour le percement, nous avons à distinguer le fonçage des puits et les ouvrages destinés au roulage. Si F (H) représente les frais de fonçage d'un puits, il viendra pour l'ensemble n^2 F (H).

Le percement des ouvrages destinés au roulage dans un quartier, est proportionnel à la dimension l de ce quartier ; la dépense correspondante peut donc être représentée par Pl, en désignant par P une constante. Elle deviendra $\frac{Pl}{n}$ pour chaque nou-

dépend d'ailleurs de trop de circonstances variables, pour que l'on puisse formuler à cet égard des règles plus précises.

360 — *Emplacement des puits.* — Le nombre des puits n'est pas le seul élément à considérer. L'emplacement de chacun d'eux doit être attentivement discuté. Il conviendra, en cela, de s'attacher beaucoup plus aux conditions de l'intérieur qu'à celles de la surface, préoccupation souvent trop négligée en Angleterre.

Ces dernières ne sont cependant pas à négliger. Il est essentiel de se mettre à portée du réseau des grandes voies de communication : routes, canaux, chemins de fer; et dans des conditions avantageuses de raccordement, pour les tronçons de voie ferrée, ou les rivages d'embarquement, que l'on aura besoin de construire.

Il faut ménager, à portée des puits, les emplacements nécessaires

veau district, mais comme il en existe n^2, l'ensemble aura pour expression Pln.

Quant au travail du transport, il varie, d'une part, en raison du tonnage renfermé dans l'étage (c'est-à-dire l^2h, si h marque la hauteur de cet étage), et, en outre, des distances parcourues. Pour l'extraction verticale, il sera représenté par $l^2hf(H)$, car il est évidemment indépendant de n.

En ce qui concerne le roulage, l'étendue parcourue étant proportionnelle aux dimensions du carré, la dépense par tonne peut être, au moyen d'une constante R, représentée par Rl. Elle devient $\frac{Rl}{n}$, lorsque chaque tonne n'a plus à se mouvoir, pour gagner l'accrochage, que dans le district restreint auquel elle appartient. On aura donc, pour le tonnage entier : $\frac{Rl^3h}{n}$.

En définitive, la dépense totale a pour expression :

$$n^2F(H) + Pln + \frac{Rl^3h}{n} + l^2hf(H).$$

Pour la rendre minimum, par un choix convenable de la valeur de n, nous annulerons sa dérivée relative à cette variable, ce qui donne l'équation :

$$2nF(H) + Pl - \frac{Rl^3h}{n^2} = 0.$$

On en déduit :

$$\frac{2F(H)}{l} = \frac{1}{n}\left(\frac{Rl^2h}{n^2} - P\right).$$

Le second membre pourra toujours être rendu positif, puisque l'on dispose pour cela de la hauteur h de l'étage. Dès lors, on voit que, lorsque n diminue, le second membre augmente. Il en est, par conséquent, de même de H, puisque F(H) est une fonction croissante.

[redacted] la formation des haldes de déblais, ou, dans le cas contraire, [redacted] l'ouverture des carrières destinées à fournir le remblai.

[redacted] doit se procurer des eaux de nature convenable pour les [redacted] à vapeur; celles de la mine étant absolument impropres à [redacted] de ces générateurs, dont elles attaqueraient le métal par [redacted] acide.

Les [redacted] ont à se conformer aux dispositions législatives, [redacted] sous ce rapport, qui exigent des distances [redacted] le plâtre des puits et les propriétés habitées ou [redacted] obtenir l'agrément des propriétaires. Les conditions de ce [redacted] pourront parfois être tellement onéreuses, [redacted] sur le choix de l'emplacement.

On évitera les [redacted] tourbeux, qui rendraient difficile d'asseoir les [redacted] lourds édifices, nécessaires pour un siège d'extraction. Il en [redacted] de même pour les fonds perméables et aquifères, propres à [redacted] les suintements dans le puits.

En mettant [redacted] dans le mur d'un gîte incliné, on se donne de [redacted] chances de conservation que dans le toit, que l'on doit [redacted] à voir jouer, en raison de l'exploitation même. [redacted], un emplacement situé à la fois dans le toit et le mur, [redacted] le filon à mi-hauteur, diminuera notablement le [redacted] des travers-bancs qui, en partant des divers [redacted], vont rejoindre le gisement.

[redacted] — La situation de l'emplacement des puits de service a [redacted] de déterminer le *champ d'exploitation* de chacun [redacted] Pour la délimitation de cet élément essentiel, on tient natu[redacted] le plus grand compte des accidents géologiques, tels que [redacted], rejets, colonnes de richesse ou zones d'appauvrissement. A défaut de motifs spéciaux, sa configuration sera fixée par les [redacted] du roulage, qui procède, en général, à l'aide de voies horizontales, et de plans inclinés disposés suivant les lignes de plus grande pente. Les champs d'exploitation seront, d'après cela, en principe, des rectangles limités par des lignes de direction et d'inclinaison.

Leur étendue dans ces deux sens est ordinairement beaucoup plus

restreinte en France, où les gisements sont très accidentés, qu'en Angleterre et en Westphalie, où l'on voit des couches bien réglées sur d'immenses étendues. On atteint sous ce rapport, de l'autre côté de la Manche, des chiffres gigantesques. Comme limites excessives, je citerai pour l'étendue en direction, un développement total de 4000 mètres d'un seul côté du puits, ou encore 2400 mètres de chaque côté. Suivant l'inclinaison, l'on a réalisé le chiffre de 1750 mètres en amont-pendage, ou 3600 mètres en aval-pendage. Ces derniers résultats sont encore plus anormaux dans une telle situation que des valeurs égales qui seraient comptées en direction. La grande diffusion des tractions mécaniques en Angleterre explique de pareils excès.

Sur le continent, l'étendue des champs d'exploitation est beaucoup moindre, et se chiffre en général par quelques centaines de mètres : mille au plus, de chaque côté du puits. Il est important de remarquer que la durée de ces aménagements croît avec leurs dimensions, et qu'ils peuvent ainsi devenir d'un entretien extrêmement onéreux. La nature du roulage que l'on compte adopter pour l'exploitation : par gamins, par hommes, par chevaux, par locomotives, ou par traction mécanique, influe également d'une manière directe sur la question. Lorsque le toit donne, ou que la sole gonfle, l'étendue doit encore diminuer pour éviter des travaux d'entretien très onéreux.

§ 2

DIVISION EN ÉTAGES

362 — *Détermination des étages.* — On a soin d'établir dans le puits un certain nombre d'*accrochages* intermédiaires, indépendamment de l'envoyage du fond. Chacun d'eux est relié au gîte par un *travers-bancs*, qui constitue l'artère de son activité. Si l'on conduit par la pensée des plans horizontaux [1] à partir de chacune de

[1] Dans des cas très rares, les plans qui limitent les étages sont normaux à la stratification, comme à Cransac (couche de la bifurcation); ou verticaux, comme à Beaubrun (puits Montmartre).

ces recettes, on divise le gîte en autant d'*étages*. Chacun d'eux est caractérisé par sa *voie de fond*, qui le dessert suivant son horizontale inférieure, pour aboutir au travers-bancs et de là au puits. On désigne habituellement les étages, soit par des noms propres, soit par un numéro d'ordre, ou encore par le chiffre de la profondeur, plus rarement par la cote d'altitude au-dessus du niveau de la mer.

Ces divisions forment l'élément le plus essentiel de l'aménagement. On les définit, soit par leur *hauteur* verticale, soit par la *relevée*, estimée suivant l'inclinaison. Il est très essentiel, dans la description d'une mine, d'éviter toute ambiguïté à cet égard.

Les hauteurs d'étages sont extrêmement variables. Elles s'abaissent à 10 ou 15 mètres, de même qu'elles s'élèvent à 50, et presque à 100 mètres, dans les bassins occidentaux de l'Allemagne.

Il ne faut cependant pas d'excès à cet égard. Une fois que l'on a coupé une masse au pied, il est important de l'enlever aussi rapidement que possible, avant que l'incendie s'y développe, quand le combustible y est prédisposé. Dans tous les cas, le charbon se fendille par une trop longue durée du déhouillement, et n'offre plus assez de solidité pour l'emploi des méthodes dans lesquelles il est appelé à se tenir en couronne. Dans certains modes d'exploitation, le charbon descend dans des cheminées. Il se détériorerait alors complètement, si elles avaient une trop grande hauteur. En outre, comme, pour un pendage donné, une plus grande hauteur correspond à un plus grand développement en inclinaison, les plans inclinés prendraient un développement excessif, et leur service présenterait beaucoup de complication.

Il ne faut pas non plus d'excès contraire, et d'étages trop bas. On y trouverait d'abord un surcroît de dépense, pour l'installation d'un aussi grand nombre de recettes et de voies de fond. En outre, on arriverait plus souvent à prendre une dernière tranche sous les travaux de l'étage supérieur, ce qui est de nature à présenter certaines difficultés.

363 — On arrive à concilier ces exigences opposées, en adoptant deux degrés successifs de division pour le gîte. D'abord, de grands

étages, caractérisés, comme nous l'avons dit, par une recette, un travers-bancs, une voie de fond. Sur cette dernière, descendent des *plans inclinés*, qui servent d'artères aux divers *quartiers* ou *districts*, dans lesquels on décompose, suivant la direction, le champ d'exploitation. A partir de chaque plan incliné, se développent des *costresses*, qui divisent ce quartier, suivant l'inclinaison, en *sous-étages* d'une hauteur beaucoup moindre.

Ces galeries, parcourues par des rouleurs, ou herscheurs, sont moins importantes, moins coûteuses, moins durables, que les voies de fond destinées aux chevaux. Leur desserte au moyen de plans inclinés occasionne de son côté des frais et des complications moindres que ne le ferait un nombre égal de recettes supplémentaires, établies dans le puits pour chacune de ces costresses, si l'on transformait par là en étages les sous-étages précédents. A quoi nous devons ajouter que, par une telle multiplication, le service du puits deviendrait impraticable.

364 — On profite utilement, dans certains cas, pour activer la préparation d'un étage et le percement de sa voie de fond, de l'existence de celle de l'étage supérieur. On fait alors partir de celle-ci, dans la couche, des descenderies jusqu'au pied du nouvel étage, où l'on installe deux chantiers chassants, dont les équipes avancent en se tournant réciproquement le dos. On reconnait là un artifice identique à celui qui permet d'attaquer, en plusieurs points à la fois, le percement d'un tunnel à l'aide de puits (n° 298), ou un foncement sous stot au moyen de galeries (n° 326, 4°), afin de réaliser une plus grande rapidité. Ces descenderies elles-mêmes pourront être immédiatement utilisées pour l'aménagement de l'étage, et sa répartition en quartiers distincts.

365 — Lorsque la formation comprend, non plus une seule couche, comme nous le supposions implicitement dans les explications précédentes, mais un certain nombre de veines parallèles, comme dans le bassin de Westphalie (fig. 265, 266), on les recoupe, à partir de chaque accrochage, par un double travers-bancs, qui s'éloigne du puits dans deux sens opposés, suivant la perpendi-

culaire à la direction de la stratification, et aborde les couches successives, les unes par le toit, les autres par le mur. Dans chacune d'elles on installe une galerie de direction, qui forme la ***base d'exploitation de l'étage pour cette couche***, et à l'aide de laquelle on opère comme ci-dessus.

Dans le bassin de la Sarre, on n'ouvre pas, à partir du travers-bancs, de mère-galerie en direction dans toutes les veines indistinctement, comme pour le cas précédent, mais seulement dans celles qui sont privilégiées sous le rapport du charbon et des terrains en-

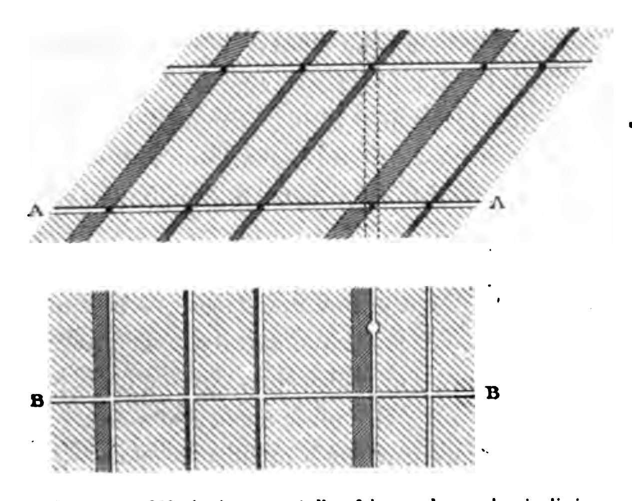


Fig. 265 et 266. Aménagement d'un faisceau de couches inclinées (coupes verticale et horizontale).

caissants, et dont on peut attendre, pour ces ouvrages, les meilleures conditions de durée. Chacune de ces galeries forme alors la ***base d'exploitation de l'étage pour le faisceau des couches adjacentes***, en même temps que pour celle dans laquelle elle est pratiquée. On y rattache, à cet effet, ces diverses veines, au moyen de ***travers-bancs secondaires***, branchés tous les 200 ou 300 mètres sur cette galerie-maîtresse. Ces travers-bancs déterminent, par leur rencontre avec les couches en question, des quartiers correspondants dans chacune d'elles. Ces districts sont d'ailleurs desservis, comme à l'ordinaire, à

l'aide de plans inclinés et de costresses, qui les subdivisent en sous-étages.

Ces divers principes, en diminuant le nombre des voies de fond, qui sont très coûteuses, pour les remplacer par un plus grand développement de voies moins durables et moins onéreuses, réalise une certaine économie.

366 — En Angleterre, la faible inclinaison des couches conduit à un système d'aménagement tout différent. Après avoir recoupé la veine par le puits, on n'en sort plus, et l'on y développe entièrement le réseau de travaux, sans presque jamais s'étendre dans le rocher. Quand une mine de la Grande-Bretagne présente plusieurs étages, ils correspondent, à peu près constamment, à des superpositions de couches parallèles, chacune d'elles formant en quelque sorte une mine à part. Il va sans dire, cependant, que l'on ne se refuse pas absolument de chercher dans cette coordination quelques secours au point de vue de l'aérage.

367 — *Ordre d'exploitation des étages.* — Lorsque le nombre des étages a été fixé dans chaque cas, il y a lieu de régler l'ordre suivant lequel ils seront exploités successivement. On peut employer pour cela le *mode ascendant* ou le *mode descendant.*

Divers motifs peuvent porter à prendre les étages de bas en haut. La surface du sol est moins disloquée par l'exploitation des grandes profondeurs, que par celle des parties plus rapprochées. On retardera donc par là les payements d'indemnités aux propriétaires de la superficie, ainsi que l'introduction des eaux de surface dans la mine, par les fissures du terrain.

Les étages du fond, une fois terminés, pourront être noyés, et disparaîtront de l'exploitation, tandis que les vieux travaux, quand on les a au-dessus de soi, occasionnent des inconvénients sérieux.

Mais des raisons opposées font, en général, prévaloir l'ordre descendant.

Il est, en effet, plus difficile de connaître le fond que la partie supérieure, et de s'y développer de suite en connaissance de cause.

En outre, cette expression, du *fond*, n'a souvent qu'une valeur re-

lative. Le développement progressif de l'art des mines permet aujourd'hui d'attaquer économiquement des profondeurs qui étaient inabordables pour les anciens, et nous devons prévoir pour nos successeurs une semblable progression.

L'exploitation profonde étant naturellement plus onéreuse que celle des zones plus rapprochées de la surface, le mode ascendant aurait pour effet de grever immédiatement la production, d'une surcharge qu'il est possible d'éviter.

Il faut enfin remarquer, qu'en enlevant la base avant les parties supérieures, on tend à fatiguer ces dernières, et à les retrouver plus tard compromises, ou plus difficiles à prendre ; tandis que le dépècement des horizons supérieurs n'affecte nullement la partie subordonnée.

368 — Il importe, du reste, de bien remarquer que cette expression, d'ordre ascendant ou descendant, ne signifie nullement que l'on doive attendre, pour attaquer un étage, que le précédent soit entièrement terminé, ce qui serait ordinairement impraticable. On ne désigne par là que la succession de l'exploitation des divers étages le long d'une même verticale. Nous avons eu soin de dire (n° 356) que les travaux préparatoires doivent marcher de pair, dans une juste mesure, avec ceux d'exploitation. Il n'y a pas lieu, à cet égard, de poser des règles absolues. Tout dépendra des circonstances. On peut cependant très convenablement se représenter, pour fixer les idées, un groupe de trois étages, dont l'un se trouve en pleine exploitation, pendant que le précédent est en voie de terminaison, et le suivant dans la période de préparation.

§ 3

DIVISION EN TRANCHES ET EN LOPINS

369 — Les grandes divisions qui viennent d'être esquissées, son encore trop étendues pour fournir une base, qui soit en rapport suffisamment direct avec l'installation des chantiers. Il est clair, d'ail-

leurs, que l'on ne saurait parvenir à cette réduction en diminuant homothétiquement leur importance, car ces fractions du gîte sont caractérisées par des organes de forme déterminée, et dont nous avons discuté le nombre. Un nouveau mode de subdivision, superposé au précédent, s'impose, d'après cela, comme une dernière nécessité. Il devient, à cet égard, nécessaire de distinguer, dans le chantier, ce qui concerne le sens vertical ou le sens horizontal.

L'épaisseur verticale que l'on peut prendre d'un seul coup, audessus d'une étendue horizontale quelconque, ne saurait franchir certaines limites. On l'a poussée, dans des cas assez fréquents, jusqu'à 5 mètres, et, très exceptionnellement, à 10, 12 et même 15 mètres (n° 429), mais dans des conditions absolument spéciales, et au prix de dangers qui doivent aujourd'hui faire répudier de pareils errements. En thèse générale, il faut se restreindre à une hauteur de chantier mieux en rapport avec la taille de l'homme, et les dimensions ordinaires des bois de soutènement. On peut admettre, pour fixer les idées, un type de deux mètres, l'abaisser un peu quand il le faudra, et, assez souvent, le porter jusqu'au double. On y parvient en divisant la masse en *tranches* superposées, au moyen de plans horizontaux, ou parallèles à la stratification.

370 — Quant à l'étendue en projection horizontale du champ d'exploitation ou du district, on l'embrasse parfois d'un seul coup par les méthodes dites *de grandes tailles*, quand le gisement présente une homogénéité et une régularité suffisantes. Mais, dans les autres cas, on y établit un *traçage* à mailles plus ou moins serrées, au moyen d'un réseau formé de galeries menées en direction, et de montages conduits suivant l'inclinaison [1]. On partage ainsi la tranche en rectangles, qui prennent le nom de *lopins*, *piliers* ou *massifs*. Chacun d'eux constitue l'unité définitive, limitée d'une manière rationnelle dans toutes ses dimensions, et sur laquelle on pratiquera ensuite l'opération du *dépilage*, en la prenant pour théâtre des opérations d'un chantier.

[1] Nous faisons en ce moment, pour simplifier, abstraction des traçages en demipente (n° 421).

371 — Ces traçages fondamentaux, destinés à embrasser dans toutes ses parties un champ d'exploitation, s'exécutent la plupart du temps en France, à l'aide de *galeries simples*, en raison de leurs dimensions plus réduites. En Angleterre, où l'on s'étend à de grandes distances, on est dans l'habitude constante et très judicieuse, de les conduire par *voies jumelles*, doubles, et parfois triples, situées à une distance de 20 ou 30 mètres l'une de l'autre ([1]).

Ces deux galeries, ainsi menées parallèlement et de conserve, s'aèrent mutuellement pendant le percement, au moyen de recoupes successives, conduites de l'une à l'autre tous les 30 à 50 mètres. Lorsqu'on ouvre une nouvelle recoupe, on a soin de boucher la précédente par un barrage. Elles sont donc, à chaque instant, toutes fermées, à l'exception de la dernière. Le courant d'air qui arrive par l'une des voies, passe par cette traverse et revient par la galerie conjuguée. Quant aux tronçons d'avancement situés au delà de cette recoupe, ou aux galeries simples du premier mode, on les aère par des moyens spéciaux dont il sera question en temps et lieu.

§ 4

GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTHODES D'EXPLOITATION

372 — *Qualités du gîte.* — C'est dans l'agencement général des tranches et des massifs, et dans leur mode de déhouillement, que consiste essentiellement la méthode d'exploitation. On doit s'y préoccuper de toutes les particularités qui concernent le gîte, et notamment de quatre points principaux : la puissance, l'inclinaison, la solidité, la constance de richesse.

En ce qui concerne la *puissance*, on peut rencontrer les variations les plus extrêmes. En même temps que certaines veinules

([1]) Cette pratique est du reste fort ancienne, car Délius, qui en énonce le principe, en cite en même temps un exemple de plus de trois kilomètres de longueur (*Instruction sur l'art des mines*. 1773, traduction de Schreiber, tome I, p. 268).

de tellure natif d'Offenbanya (Transylvanie) présentent l'épaisseur d'une feuille de papier [1], quelques filons du Hartz atteignent par places 60 mètres de puissance, le minerai de fer de Kirunnavara (Norrbothnie, Suède) 230 mètres, le grand filon du Comstock 300 mètres, le filon du Nord à Rio-Tinto jusqu'à 500 mètres.

Il convient de distinguer à cet égard deux catégories fondamentales : les *gîtes minces* et les *gîtes puissants*. La limite qui sépare ces deux classes manque nécessairement de précision. On peut, au point de vue de l'appropriation des méthodes d'exploitation, la confondre avec celle que nous avons appelée hauteur de chantier : deux mètres en général. L'épithète de gîte mince est souvent, cependant, employée d'une manière plus stricte encore, pour désigner les gisements dont le peu de puissance devient définitivement gênant pour l'organisation du travail, oblige à entailler le toit ou le mur, et finit même par rendre la masse inexploitable, à moins que cette circonstance ne soit rachetée par une valeur intrinsèque suffisante pour légitimer les sacrifices nécessaires. Il est rare, par exemple, qu'une couche de combustible puisse être utilement exploitée au-dessous de $0^m,30$ ou même $0^m,40$ d'épaisseur. Souvent on renonce à des veines plus importantes encore, si la pureté du charbon laisse en même temps à désirer, ou si la profondeur, les venues d'eau, le manque de solidité, le grisou, l'inflammabilité, viennent en outre compliquer les conditions du travail.

373 — L'*inclinaison* est également un élément de première importance. Elle change du tout au tout les conditions du chantier. En plateure mince, on a la sole sur le mur et le toit pour plafond ; les parois sont formées par le massif, le remblai ou l'éboulement. Dans un dressant mince, au contraire, on a la sole sur le massif ou sur le remblai ; le plafond est formé par le massif, l'éboulement, et parfois le remblai; les parois sont les épontes du gîte.

L'influence géométrique du plongement se complique encore

[1] De Lapparent. *Traité de Géologie*, 1168.

d'une autre circonstance : le plus ou moins d'adhérence des bancs les uns pour les autres. Quelquefois le mur d'une couche de houille est formé d'un schiste poli comme la glace. De même, certains filons sont séparés de la roche par des salbandes argileuses et détrempées, qui constituent une véritable lubrifaction. On doit alors redouter le glissement des masses recoupées au pied (1), et cette préoccupation influera dans l'institution de la méthode.

374 — La *solidité* du minerai entre aussi en ligne de compte. S'il s'agit, par exemple, d'abandonner systématiquement des massifs pour soutenir le toit, un certain degré de consistance leur est évidemment indispensable. Si des piliers, momentanément réservés pendant le traçage, doivent être repris dans le dépilage, on les retrouvera fatigués, susceptibles de donner une plus grande proportion de menu dans l'abatage, et même de le rendre dangereux, si la méthode adoptée ne leur attribue pas des dimensions en rapport avec leur degré de cohésion. Le clivage des roches, la feuille du charbon, influeront encore très directement, dans cet ordre d'idées, sur la direction à donner aux fronts de taille.

La solidité du toit présente une importance non moins grande. Elle règle la tenue du plafond au-dessus d'espaces vides plus ou moins étendus, ainsi que la manière dont il effectuera sa tombée, en exposant, par son insuffisance, à compromettre la sûreté des hommes, à perdre du minerai sous l'éboulement, ou à salir le charbon, en y mêlant des pierres.

375 — La *constance de la richesse*, ou sa dissémination plus ou moins irrégulière, imprimeront à la méthode un caractère d'uniformité ou de variabilité dans la succession des chantiers. Cette considération n'a en général qu'une valeur secondaire dans les houillères, si l'on excepte toutefois les formations *en chapelet*, dans lesquelles les oscillations de la puissance viennent exercer une influence équivalente à celle de la teneur des filons. Celle-ci,

(1) On sait que ces mouvements se sont souvent effectués pour des montagnes entières, glissant sur des plans inclinés formés d'argile détrempée, engloutissant des villages et désorganisant complètement la surface.

au contraire, joue un rôle essentiel dans les gîtes métalliques, et oblige, comme nous l'avons dit (n° 42, note), à faire dans ces exploitations une part, ordinairement assez large, aux travaux de recherche.

376 — L'idéal des conditions à remplir par un gisement pourrait, d'après ce qui précède, se formuler à peu près de la manière suivante : une puissance restreinte, comprise entre 1 mètre et 3 mètres (¹); une inclinaison très modérée ; le toit et le mur bien réglés, sans accidents, solides, nettement détachés du combustible, sans cependant exposer au glissement ; le charbon assez résistant lui-même, non grisouteux, ni sujet à l'inflammation spontanée.

La manière dont ce programme se trouve réalisé dans la presque totalité de l'Angleterre et dans la Westphalie, crée à ces régions une énorme supériorité ; tandis que les conditions opposées de nos bassins bouleversés, ou des formations belges, imposent aux ingénieurs des deux pays un perfectionnement incessant de leurs moyens d'action, pour pouvoir soutenir la lutte commerciale.

En Angleterre, les couches présentent une tenue admirable ; les puissances sont comprises entre $0^m,60$ et $3^m,00$. On exploite rarement au-dessous de 1 mètre. La couche du Ten-yards-coal (Stafforshire) fait seule exception par sa grande puissance (n° 396). L'inclinaison est toujours très faible, de 2 ou 3 centimètres par mètre, ne dépassant presque jamais 15 à 20 centimètres. Les terrains encaissants sont d'une solidité exceptionnelle. Le toit se tient parfois seul jusqu'à 50 mètres du front de taille. Sous ce rapport, il y a plutôt excès, en ce que la chute s'opère alors sur d'énormes étendues, en occasionnant de brusques déplacements d'air. Les failles elles-mêmes présentent une certaine régularité, et servent à sectionner le gîte, sans gêner considérablement l'exploitation.

(¹) C'est une erreur ordinaire des personnes inexpérimentées, d'admirer les énormes puissances dont notre pays (principalement l'Aveyron) offre de nombreux exemples. Une somme égale d'épaisseurs, fournie par des couches distinctes et de puissance moyenne, placera au contraire l'exploitation dans des conditions beaucoup plus avantageuses.

377 — *Qualités de la méthode.* — Lorsque les conditions de l'idéal précédent sont loin d'être remplies, c'est à l'organisation intelligente de la méthode d'exploitation qu'il appartient de remédier à ces défauts. Nous pouvons également donner une sorte de formule des principaux desiderata dont on s'y doit préoccuper : sûreté du personnel, économie du prix de revient, bon aménagement du gîte. Mais ces trois termes essentiels se subdivisent eux-mêmes en un certain nombre de points de vue distincts.

En ce qui concerne l'*abatage*, on doit éviter les chantiers étriqués et donner aux tailles toute l'ampleur compatible avec la solidité, afin que les mineurs travaillent à l'aise, et puissent mieux développer leurs moyens d'action. Le *rendement du piqueur* en minerai abattu s'en ressent très directement. Pour cette même raison, l'on fera prédominer, dans la mesure du possible, la période du dépilage, en réduisant d'autant celle du traçage, dans laquelle l'ouvrier se trouve forcément plus à l'étroit.

Il est désirable que le front de taille puisse être disposé en gradins, afin de dégager la roche sur un plus grand nombre de faces. On devra le conduire dans une telle direction, qu'elle utilise, pour la séparation des blocs, sous l'influence des outils ou des coups de mine, la feuille du charbon ou les clivages du minerai. La tombée du toit, en arrière de l'avancement, devra être réglée de manière à éviter que le combustible se trouve perdu ou mélangé de substances étrangères.

378 — La question du *boisage* oblige à avoir des vides assez restreints pour ne pas employer de bois exceptionnels ; à multiplier les buttes, de manière à être assuré contre les éboulements imprévus, sans trop retarder l'affaissement du toit des tailles. On devra réglementer le développement, et, par suite, la durée des chantiers, de manière à ne pas dépasser pour les boisages la limite de leur existence sans réparations fondamentales. Il faudra leur ménager, par l'organisation des travaux, une base ferme, pour que les montants n'aient pas de tendance à s'y enfoncer sous la pression qu'ils supportent.

379 — Au point de vue du *roulage*, il conviendra d'en développer l'activité sur un réseau aussi restreint que possible, pour diminuer les frais d'entretien auxquels il donne lieu, tout en facilitant la surveillance et la coordination des mouvements. Il faut cependant éviter soigneusement, à cet égard, un excès qui produirait l'encombrement, et, comme conséquence, l'arrêt fréquent des trains dans toutes les gares, en mettant les piqueurs dans l'impossibilité de reculer leur charbon. On s'efforcera de développer le parcours des chevaux dans les grandes distances, en restreignant celui des herscheurs, qui reste cependant inévitable, en général, entre les tailles et les galeries principales.

380 — En ce qui concerne le *grisou*, il faut boucher immédiatement tous les vides qui se trouvent en dehors de la ventilation, et disposer les fronts de taille, de manière qu'ils puissent être léchés exactement par le courant. Il convient de terminer le plus vite possible tout quartier commencé, et d'isoler les districts abandonnés, pour se défendre contre leurs émanations. On doit concentrer autant que possible les ouvriers dans un espace modéré, afin de faciliter la surveillance, et de diminuer la durée de l'entretien des ouvrages; mais il est essentiel de ne pas aller, sous ce rapport, jusqu'à l'agglomération de tout le personnel sur un même point. Il faut, au contraire, le répartir en un certain nombre de chantiers, notablement éloignés les uns des autres, pour soustraire aux conséquences des coups de feu de peu d'importance, les hommes qui ne se trouvent pas sur le théâtre immédiat de l'accident.

381 — Pour les *charbons inflammables*, il importe de n'en abandonner aucune partie dans les remblais ou les éboulements, surtout à l'état de menu très divisé, dans lequel le rapport des surfaces oxydantes à la masse à oxyder est poussé plus loin. Il faut également attaquer sur une étendue assez faible, pour que l'on puisse monter vivement jusqu'au faîte de la pile dont elle forme la base, avant que les mouvements produits par cette exploitation aient eu le temps d'échauffer le combustible et de déterminer son inflammation.

382 — *Les trois principes fondamentaux.* — Mais il est temps que ces généralités prennent un corps, afin de constituer les méthodes effectives d'exploitation. Elles reposent toutes, quand on les réduit à leur dernière expression, sur un très petit nombre de principes fondamentaux.

Un gisement peut, suivant les circonstances, être attaqué de deux manières différentes : à ciel ouvert ou souterrainement.

Exploitation minérale	Exploitation a ciel ouvert,
	Exploitation souterraine.

Nous nous occuperons d'abord des travaux souterrains, pour continuer à rester dans le même ordre d'idées. Les exploitations à ciel ouvert feront ensuite l'objet du chapitre XXIV.

Les méthodes souterraines reposent toutes sur l'un de ces trois principes fondamentaux :

Exploitation souterraine	Principe de l'abandon,
	Principe du foudroyage,
	Principe du remblayage.

Avec le *principe de l'abandon de massifs*, on ne pratique dans le gîte que le degré de vide que sa solidité comporte, et l'on conserve sous le toit des masses assez importantes pour assurer son soutien. Ces piliers sont définitivement abandonnés, et constituent pour la méthode une perte pure et simple.

Avec le *principe du foudroyage du toit*, on évite cette perte, en renonçant purement et simplement au but en vue duquel on l'avait acceptée, à savoir : la conservation du vide. On laisse donc tomber le toit, après avoir toutefois pris les mesures nécessaires, pour que ce ne soit qu'après l'enlèvement du minerai, et en sauvegardant la sécurité du personnel.

Avec le *principe du remblayage du chantier*, on cherche à remédier à deux défauts évidents de cette dernière solution : le danger pour les hommes d'être pris sous un éboulement prématuré, et l'inconvénient de perdre encore, en réalité, une certaine por-

tion du minerai, qu'il serait impossible ou trop périlleux de retirer. On revient donc à la donnée primitive de la conservation du toit, mais avec des soutiens autres que le massif lui-même, c'est-à-dire en y employant des matières stériles, qui prennent le nom de remblai, et à l'aide desquelles on comble le vide des tailles.

Ces trois *principes*, qui ne sauraient rentrer les uns dans les autres, servent chacun de base à un certain nombres de *méthodes* distinctes, dont la description va nous occuper dans les chapitres suivants.

CHAPITRE XVII

ABANDON DE MASSIFS

—

§ 1

METHODES DES PILIERS, DES CLOISONS, DES ESTAUS

383 — *Généralités.* — Le principe de l'abandon pur et simple d'une fraction importante du gîte, doit rester limité à des matières de peu de valeur, incapables de rémunérer les frais accessoires qu'occasionnerait l'application plus onéreuse du foudroyage ou du remblayage, pour l'enlèvement des parties délaissées.

Ce système d'exploitation se recommande, il est vrai, par sa simplicité. Elle est telle, que ce principe a dû, sans nul doute, être seul suivi à l'origine de l'exploitation souterraine. Mais il a été constamment en se restreignant depuis lors.

Ajoutons que l'abandon de massifs présente sur les deux autres principes, l'avantage de respecter beaucoup plus nettement la superficie, en évitant le payement d'indemnités aux propriétaires du sol, et l'introduction des eaux de surface. Cette considération peut dans certains cas devenir assez décisive pour imposer son choix, par exemple dans les exploitations sous-marines (n° 394).

Elle motive également l'intervention *partielle* de ce principe, dans les mines exploitées par remblayage ou foudroyage, lorsqu'il s'agit d'assurer la conservation absolue d'une région particulièrement importante de la surface : habitations, ouvrages d'art, voies de communication, cours d'eau, etc. On réserve alors au-dessous d'elle une partie du gîte qui restera inattaquée, sous le nom

de ***massif de protection***, ou encore d'***investison***. On agit de même, au besoin, pour sauvegarder des organes essentiels de l'exploitation elle-même, tels que puits, chambres de machine, galeries d'écoulement, etc. Nous examinerons plus tard (n° 449) les règles qui doivent présider à la détermination très délicate de ces réserves.

Le principe de l'abandon de massifs est mis en pratique d'après quatre méthodes distinctes d'exploitation, auxquelles nous donnerons les noms suivants [1] :

PRINCIPE DE L'ABANDON	MÉTHODE DES PILIERS TOURNÉS,
	MÉTHODE DES PILIERS LONGS,
	MÉTHODE DES CLOISONS,
	MÉTHODE DES ESTAUS.

384 — Supposons, en premier lieu, un gisement horizontal ou peu incliné, et dont la puissance ne soit pas trop disproportionnée avec sa solidité, de telle sorte que l'on puisse entreprendre de le dépecer d'un seul coup sur toute son épaisseur. Cette limite de hauteur est d'ailleurs absolument relative. Tandis que dans certains gîtes de consistance médiocre, une élévation de 5 ou 10 mètres constituerait déjà pour les chantiers un excès téméraire, on a pu pratiquer, dans les salines de Marmaros, des chambres de 147 mètres de hauteur. La méthode est alors dite ***en une seule tranche***, mais elle peut s'appliquer de trois manières différentes.

Dans un premier cas, le plafond est soutenu par une série de massifs isolés les uns des autres, et les vides forment autour d'eux un espace continu. C'est la ***méthode des piliers tournés***.

Dans un mode inverse, on pratique une série de vides isolés les uns des autres, appelés ***chambres***, et c'est, au contraire, la masse minérale qui reste continue, à l'état de squelette servant à cloisonner ces chambres, pour les séparer les unes des autres. Ce sera pour nous la ***méthode des cloisons***.

On aperçoit entre ces deux systèmes la différence qui se retrouve

[1] Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société des Sciences naturelles de Nîmes*, juin 1885, p. 69.

pour les constructions habituelles de la surface. Dans les conditions ordinaires, un ensemble continu de murailles supporte le plafond au-dessus de chambres distinctes, isolées les unes des autres. Pour une très grande salle, au contraire, ce plafond se trouve soutenu, au-dessus d'un vide continu, par une série de colonnes isolées. Dans le premier cas, il repose sur un réseau de *lignes* de soutènement, et dans le second sur un système de *points* isolés.

La *méthode des piliers longs* forme une sorte d'intermédiaire entre ces deux conceptions, et comme un passage de l'une à l'autre. Le pilier rectangulaire s'allonge indéfiniment suivant l'une de ses dimensions, et cloisonne alors, l'un par rapport à l'autre, les espaces situés sur ses deux faces. Mais il existe un nombre illimité de pareils piliers. Le plafond se trouve donc, dans ce cas, soutenu sur un ensemble de lignes, comme dans la méthode des cloisons; seulement ce n'est plus un réseau continu dans toutes ses parties; c'est un système de lignes détachées les unes des autres, comme le sont les appuis isolés, dans la méthode des piliers tournés.

385 — *Méthode des piliers tournés.* — Les piliers tournés ont en principe la forme rectangulaire. Si le gîte présente une pente appréciable, on établit leurs côtés suivant sa direction et son inclinaison. L'ensemble est quadrillé en forme de *damier* ou de *quinconce* (fig. 267). Il présente pour le roulage deux systèmes de voies rectangulaires.

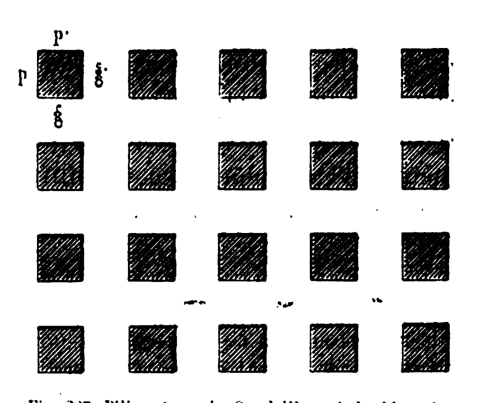


Fig. 267. Piliers tournés. Quadrillage à double voie (coupe horizontale).

Dans certains gisements, le toit est traversé par de nombreuses fissures ou *filières*, sensiblement parallèles, qui lui enlèveraient toute solidité, si on les laissait régner au-dessus d'un vide continu. On croise alors les

piliers (fig. 268), en déjetant d'une case, sur le damier, leurs files, de deux en deux. Il ne reste plus, dans ces conditions, qu'un seul système de voies, que l'on dispose, autant que possible, perpendiculairement à la direction des filières.

Quand le gîte pèche par défaut de solidité, on trouve avantage à faire l'opération en deux fois. On embrasse tout le champ d'exploitation par un traçage à larges mailles, et, pendant ce temps,

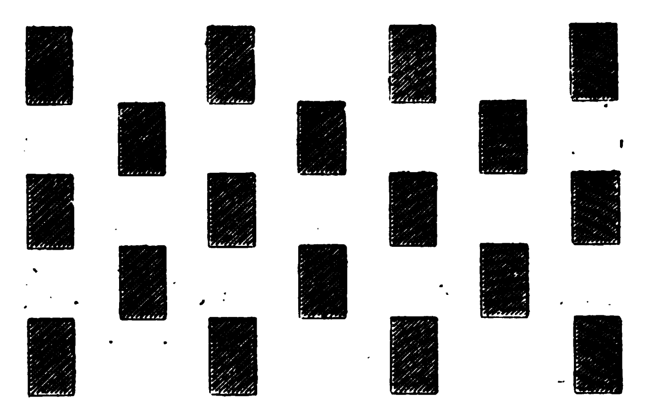


Fig. 268. Piliers tournés. Quadrillage à simple voie (coupe horizontale).

les massifs, de dimensions surabondantes, présentent toute sécurité. Puis on bat en retraite à partir des limites du champ, en refendant en quatre les lopins par deux galeries en croix, de manière à n'abandonner, en définitive, que des piliers réduits au strict nécessaire, mais dans des régions où l'on n'a plus à rentrer (1).

(1) Les exemples de l'application de la méthode des piliers tournés sont innombrables. Je citerai notamment : les carrières de haute et basse masse, de calcaire ou de gypse, des environs de Paris ; les mines domaniales de lignite de Brux (Bohême), et celles de Trets (Bouches-du-Rhône), avant la transformation qu'elles viennent de subir ; l'ancienne méthode Liégeoise, un essai du même genre dans les charbonnages de Königsgrube (Silésie), la méthode *des larges galeries* très usitée autrefois dans le Yorkshire et le Lancashire, le Ten-Yards-Coal du Staffordshire (n° 396) ; les salines de Varangéville, de Dieuze, de Northwich, de Wieliczka (n° 390) ; la glaubérite de Cieu-Pozzuelos (Espagne) ; les pyrites cuivreuses de Tharsis et de Rio-Tinto ; les mines de fer oxydé de Saint-Rémy-sur-Orne, de Beauregard (Côte-d'Or) ; le fer protosilicaté de la sierra de Carthagène ; les grès de Commern (pays de Siegen), imprégnés de galène, ainsi que les mines de plomb d'Offenbanya et de Rodnau (Hongrie).

386 — *Méthode des piliers longs.* — Les massifs longs sont disposés suivant la direction du gîte, de manière à laisser entre eux des galeries horizontales pour le roulage. Quelquefois, cependant, comme dans le wicket-system (n° 395), ils sont dirigés suivant l'inclinaison (¹).

Dans les ardoisières de Rimogne (Ardennes) (n° 393), la cloison, au lieu d'être rectiligne, affecte une forme dentelée en décrochements (fig. 269), propre à donner au pilier plus de maintien ; de même que la tôle ondulée présente plus de raide que la tôle plane.

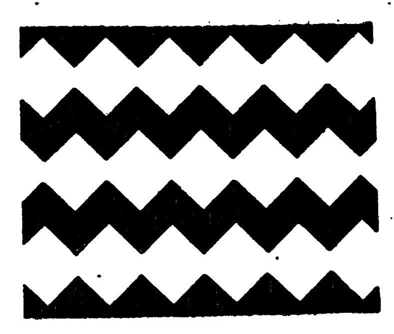


Fig. 269. Piliers longs en décrochements (coupe horizontale).

387 — *Méthode des cloisons.* — On adopte, en général, pour plus de simplicité et de solidité dans les chambres souterraines, le type du cylindre de révolution surmonté d'une coupole. La forme ronde peut également s'ovaliser, pour tenir compte de la direction du gîte, ou de différences de consistance dans les divers sens. Cette méthode comporte deux variantes. Dans l'une, les chambres sont isolées les unes des autres, et l'on descend dans chacune d'elles par un puits distinct. Ces cavités sont foncées en gradins droits. Avec la seconde, on procède par cheminements horizontaux, en les épanouissant en forme de chambre, que l'on ouvre en montant, en gradins renversés, sur les points où la teneur paraît devoir être rémunératrice.

La méthode des cloisons peut offrir des avantages au point de

(¹) La méthode des piliers longs se rencontre, par exemple, dans les ardoisières de Fumay (Ardennes), les mines d'anthracite de Pennsylvanie (n° 390), et les mines de fer de Mondalazac (Aveyron) ; du moins pendant la période de traçage, pour cette dernière exploitation, de même que dans celle de Mazenay (Saône-et-Loire), qui est tracée avec des piliers tournés. Il est, en effet, à noter qu'avec ces deux dispositifs, les massifs peuvent être seulement *réservés à titre temporaire*, sauf à devenir, à une époque éloignée l'objet d'un dépilage suivi de foudroyage au lieu d'être *abandonnés sans retour*. Au contraire, cette circonstance ne saurait se présenter avec les méthodes des cloisons et des estaus, qui restent absolument spéciales au principe de l'abandon.

vue des eaux; soit que l'on redoute leur invasion du dehors, car alors un coup d'eau qui fait irruption dans une chambre ne compromet que ce chantier, sans atteindre les autres; soit, inversement, que l'on veuille maintenir le liquide dans cette capacité, pour y utiliser son pouvoir dissolvant, comme à Hallstadt (n° 403), ou à Bex (n° 156). En revanche, elle serait contre-indiquée au point de vue du mauvais air, attendu que, chaque capacité étant isolée, l'on ne saurait établir de ventilation d'ensemble; et que, dans le cas des cheminements intermédiaires, les énormes épanouissements qu'éprouverait le courant en débouchant dans les chambres y rendrait sa vitesse illusoire [1].

388 — *Méthode des estaus.* — Lorsque la hauteur exploitable du gîte est hors de proportion avec celle qu'il serait prudent de donner au chantier, on la fractionne en étages, séparés les uns des autres par des tranches horizontales abandonnées, qui portent le nom d'*estaus* (fig. 270). Ce système se distinguera des trois premières méthodes, dites en une seule tranche, sous le nom de *méthode des estaus*. Il s'applique, soit pour des gisements horizontaux ou peu inclinés, et d'une grande puissance verticale, soit dans des gîtes très redressés, et d'une traversée horizontale suffisante pour offrir l'espace nécessaire au développement d'un chantier. Chacun des étages s'exploite d'ailleurs d'après l'un quelconque des trois types précédents.

On doit avoir soin de faire coïncider en projection, d'une tranche à l'autre, le réseau des massifs abandonnés, de manière à ne jamais faire porter le plein sur le vide. En outre, on réduit dans la profondeur les dimensions des excavations, en augmentant d'autant celles des parties pleines, afin de rapprocher, dans une certaine

[1] On trouve des exemples de la première variante dans les ardoisières d'Angers (n° 393), les grès de Blankenstein (Saxe royale), l'exploitation des houillères de Belmez (Espagne) dans la première moitié de ce siècle, la méthode *des bouteilles* des salines de Marmaros (n° 402), les mines de plomb argentifère des sierras de Gador et d'Almagrera vers 1825.

La seconde variante est représentée par la mine d'étain d'Altenberg (n° 406), les salines de Bocknia (Pologne), les soufrières de Sicile (Ledoux, *Annales*, 7°, VII, 1), les mines de fer de Büchenberg (Hartz).

mesure, les colonnes massives qui règnent ainsi sur toute la hauteur de l'édifice souterrain, de la forme théorique du solide d'égale résistance, qui est évasé vers le bas suivant un profil logarithmique (Chap. XXXI, § 1). Les divers estaus ont d'ailleurs pour

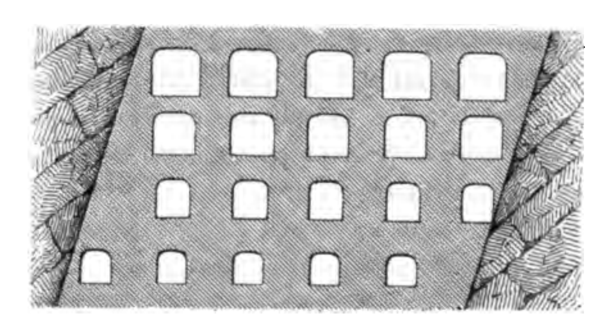


Fig. 270. Piliers et estaus (coupe verticale).

effet de contreventer ces immenses piles, et de les relier les unes aux autres en divers points de leur hauteur.

Même dans les méthodes en une seule tranche, on abandonne, s'il y a lieu, une portion de la masse, sous forme de *semelle* à la base, et de *couronne* au faîte (fig. 271), pour réaliser cette solidarité entre tous les piliers; et pour obtenir, le cas échéant, une sole de roulage plus favorable.

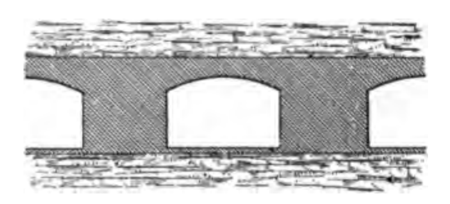


Fig. 271. Piliers tournés, avec semelle et couronne (coupe verticale).

Les massifs peuvent, sans grand inconvénient, reposer sur la semelle par un angle vif. Mais ce dispositif doit être soigneusement évité à leur insertion sous l'estau. Sans cela, il se produirait des criques dans ces angles rentrants. On adoucit ces derniers par des congés de raccordement, qui peuvent même prendre une importance conduisant au plein cintre, ou à des voûtes ogivales, plus ou moins élancées(1).

(1) Comme exemples de l'application de la méthode des *piliers et estaus*, je citerai

§ 2

CALCUL DU RENDEMENT

389 — *Méthodes des piliers.* — Désignons par p, p' les deux dimensions horizontales des piliers (fig. 267), et par g, g' la largeur des deux systèmes de galeries. L'élément du quadrillage général, auquel appartient le pilier, est un rectangle qui a pour dimensions $p + g$, $p' + g'$. La perte proportionnelle, à laquelle il donne lieu, a donc pour valeur :

$$\frac{pp'}{(p + g)(p' + g')};$$

et, par suite, le rendement :

$$(1) \quad \rho = 1 - \frac{pp'}{(p + g)(p' + g')} = \frac{gg' + pg' + p'g}{(p + g)(p' + g')}.$$

Si, par exemple, les piliers sont carrés, et les deux systèmes de voies de même largeur, en appelant α *le rapport* $\frac{p}{g}$ *du plein au vide linéaires*, qui est le même dans les deux sens, on aura, en divisant par gg' les deux termes de la fraction :

$$(2) \quad \rho = \frac{1 + 2\alpha}{(1 + \alpha)^2}.$$

Pour le cas particulier du plein égal au vide, cette formule donne :

$$\rho = \frac{3}{4}.$$

Dans la méthode des piliers longs, on a $p' = \infty$. Si donc on intro-

les carrières de craie de Meudon (Seine-et-Oise), le gîte de sel potassique de Stassfurth (n° 401), la mine de fer de Rancié (Ariège), propriété communale, exploitée sous la direction des ingénieurs du Corps des Mines (Mussy, *Annales*, 6°, XIV, 57, 195 et XV, 327).

La méthode des *cloisons et estaus* se voit à la mine d'étain d'Altenberg (n° 406), et dans les exploitations par dissolution d'Aussee (Salzkammergut), et de Hallstadt (n° 404).

duit cette hypothèse dans la formule (1), après avoir divisé par p' les deux termes de la fraction, il vient :

(3) $$\rho_1 = \frac{g}{p+g} = \frac{1}{1+\alpha}.$$

390 — *Méthode des cloisons.* — Pour que les centres des cercles forment un réseau régulier, on ne peut employer que deux types, dérivant du carré ou du triangle équilatéral.

Envisageons d'abord le système carré. Soit r le rayon des cercles, e l'épaisseur de la paroi qui les sépare. La surface du cercle sera πr^2, et celle du carré $(2r+e)^2$. Comme on prélève sur ce carré un quart de cercle à chacun de ses quatre sommets, le rendement aura pour expression :

$$\rho_2 = \frac{\pi r^2}{(2r+e)^2},$$

c'est-à-dire, en divisant les deux termes par $4r^2$:

(4) $$\rho_2 = \frac{\pi}{4(1+\alpha)^2},$$

si nous continuons à désigner par α le rapport $\frac{e}{2r}$ du plein au vide linéaires suivant la ligne des centres.

Considérons en second lieu le diagramme triangulaire. Le côté du triangle étant $2r+e$, sa surface a pour valeur $\frac{\sqrt{3}}{4}(2r+e)^2$. Comme on utilise un sixième du cercle à chacun des trois sommets, le rendement sera :

(5) $$\rho_3 = \frac{2\pi r^2}{\sqrt{3}\,(2r+e)^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}\,(1+\alpha)^2}.$$

Le rapport de ces valeurs :

$$\frac{\rho_3}{\rho_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,1547,$$

est à l'avantage du réseau triangulaire. Ce dernier système reste cependant lui-même inférieur à celui du quinconce des piliers carrés, à égalité de rapport α du plein au vide linéaires, car on a

$$\frac{\rho_3}{\rho} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}\,(1+2\alpha)} = \frac{0.9069}{1+2\alpha},$$

valeur inférieure à l'unité [1].

[1] On peut chercher à améliorer le rendement de la méthode des cloisons, en intercalant des cercles plus petits dans les intervalles des premières chambres. On les déterminera, par exemple, d'après la condition de conserver aux parois la même épaisseur.

Envisageons d'abord, pour cela, le réseau qui dérive du carré. La diagonale ayant pour valeur $(2r+e)\sqrt{2}$, si l'on y prélève les deux rayons et les deux épaisseurs, il reste pour le *diamètre* du cercle intercalaire :

$$(2r+e)\sqrt{2} - 2(r+e).$$

Il faut avant tout, pour que la solution puisse exister, que cette quantité soit positive, ce qui donne :

$$\alpha < \frac{1}{\sqrt{2}},$$

c'est-à-dire :

$$\alpha < 0{,}7071.$$

L'accroissement *absolu* de rendement est alors :

$$\frac{\frac{\pi}{4}\left[(2r+e)\sqrt{2} - 2(r+e)\right]^2}{(2r+e)^2} = \frac{\pi}{4}\left[\frac{1}{1+\alpha} - 2 + \sqrt{2}\right]^2;$$

et l'accroissement *proportionnel* :

$$(\sqrt{2}-1)^2\,(1-\alpha\sqrt{2})^2.$$

Il atteint son maximum quand on réduit à rien l'épaisseur, et l'on a pour cette limite *asymptotique* :

$$(\sqrt{2}-1)^2 = 0{,}1716.$$

L'amélioration *réelle* restera, d'après cela, sensiblement inférieure à cette valeur.

Avec le réseau triangulaire, la hauteur du triangle est égale à $\frac{\sqrt{3}}{2}(2r+e)$; et la distance du sommet au centre de gravité, qui en est les deux tiers, aura pour valeur :

$$\frac{2r+e}{\sqrt{3}}.$$

Si l'on en défalque le rayon de la chambre principale et l'épaisseur de la paroi, il

391 — *Méthode des estaus.* — Désignons par c la hauteur du

reste pour le *rayon* du cercle intercalaire :

$$\frac{2r + e}{\sqrt{3}} - (r + e).$$

La condition d'existence de cette solution exige, avant tout, que l'on ait :

$$\alpha < \frac{\sqrt{3} - 1}{4},$$

c'est-à-dire :

$$\alpha < 0{,}1830.$$

L'augmentation *absolue* de rendement est alors :

$$\frac{\pi}{3\sqrt{3}} \left[\frac{\sqrt{3}}{1 + \alpha} - 2 \left(\sqrt{3} - 1\right)\right]^2.$$

et l'accroissement *proportionnel* :

$$\frac{2}{3} \left[(2 - \sqrt{3}) - 2 \left(\sqrt{3} - 1\right) \alpha\right]^2.$$

Son maximum *asymptotique*, qui correspond à l'épaisseur nulle $\alpha = 0$, a donc pour valeur :

$$\frac{2}{3} (2 - \sqrt{3})^2 = 0{,}0479.$$

L'addition du cercle intercalaire présente, d'après cela, une efficacité beaucoup moindre dans le système triangulaire, qu'avec celui qui dérive du carré. En outre, si l'on considère que l'influence *réelle*, quand on conserve à l'épaisseur e une valeur suffisante, est encore amoindrie, on voit qu'elle devient alors absolument négligeable.

Si l'on évalue, après leur avoir fait subir respectivement ces améliorations asymptotiques, le rapport des rendements du mode triangulaire et du mode carré, on obtient la valeur :

$$\frac{\rho'_3}{\rho'_4} = 1{,}0328,$$

tandis que nous avons trouvé ci-dessus pour ces deux systèmes, dans leurs conditions ordinaires : 1,1547. Le réseau triangulaire reste donc encore préférable au réseau dérivé du carré, bien que celui-ci ait beaucoup plus profité que lui de l'amélioration. Mais si l'on comparait, par leurs caractéristiques asymptotiques, le réseau *triangulaire ordinaire* au *réseau carré amélioré*, il lui deviendrait alors inférieur ; à la vérité dans une mesure insignifiante, car le rapport serait 0,9855.

Mais la comparaison ne saurait être suffisante avec ces valeurs asymptotiques, puisqu'elles sont irréalisables. Si, pour envisager une hypothèse simple, nous reprenons celle de l'égalité du plein au vide : $\alpha = 1$, qui a déjà donné, pour le quinconce des piliers et galeries, le rendement :

$$\rho'' = 0{,}7500,$$

nous aurons, pour le réseau carré ordinaire :

$$\rho''_4 = 0{,}1963,$$

chantier et par e celle de l'estau, en négligeant l'influence des congés de raccordement, s'il en existe. La tranche exploitée ne sera que la fraction $\frac{c}{c+e}$ de l'étage, qui est formé d'une tranche et d'un estau. Comme d'ailleurs on ne retire de cette tranche qu'un rendement ρ (déjà évalué par les diverses formules précédentes), le rendement définitif ρ_4 aura pour valeur :

$$(6) \qquad \rho_4 = \frac{c}{c+e}\,\rho,$$

c'est-à-dire, si nous nous en tenons, pour fixer les idées, à la méthode des piliers tournés (1) :

$$(7) \qquad \rho_4 = \frac{c\,(gg' + pg' + p'g)}{(c+e)\,(p+g)\,(p'+g')}.$$

En supposant, par exemple, le même rapport α du plein au vide suivant les trois dimensions de l'espace, on aura :

$$\rho_4 = \frac{1+2\alpha}{(1+\alpha)^3},$$

et, en particulier, pour l'hypothèse du plein égal au vide : $\alpha = 1$:

$$\rho_4 = \frac{3}{8}.$$

392 — Pour envisager des exemples effectifs, je citerai, en premier lieu, comme méthode en une seule tranche, une couche de sel prise à Dieuze (fig. 271) en abandonnant une semelle de $0^m,20$,

et, avec le réseau triangulaire ordinaire :

$$\rho''_3 = 0,2267.$$

On voit à quel point la méthode des cloisons devient alors inférieure à celle des piliers tournés. Il n'y a pas du reste à chercher quelle influence y apporterait l'introduction des cercles intercalaires, car l'hypothèse $\alpha = 1$ est, pour les deux cas, en dehors de conditions nécessaires d'existence de ces cercles.

et une couronne de $1^m,00$ à la clef. Le profil de la galerie, refouillé en voûte surbaissée, présente $3^m,10$ de hauteur aux naissances et $3^m,80$ sous clef, d'où $c' + e' = 0^m,20 + 3^m,80 + 1^m,00 = 5^m,00$. Nous adopterons pour la hauteur du chantier, par une approximation bien suffisante, la valeur moyenne $c' = 3^m,45$. Les piliers carrés ont pour côté $p = 5^m,00$, et les galeries, égales dans les deux sens, admettent comme largeur $g = 6^m,00$. La formule (7) donne dans ces conditions $\rho_4 = 0,547$. On retire donc environ 55 °/₀ du gîte, en perdant 45 °/₀.

Considérons, en second lieu, les carrières de craie de Meudon, masse géologique pour ainsi dire illimitée dans tous les sens, mais dans laquelle on n'exploite, en raison de sa qualité, qu'une certaine zone divisée en trois tranches, que l'on prend par piliers et estaus. Si nous envisageons uniquement ici l'étage intermédiaire, nous y trouvons des piliers et des galeries de dimensions égales : $p = 5^m,00$; $g = 5^m,00$. Ces dernières atteignent 5 mètres d'élévation. On a ainsi $c = 5^m,00$; mais comme elles sont en plein cintre, la section équivalente a pour hauteur approximative $c' = 4^m,46$. L'estau réel a pour épaisseur à la clef $e = 3^m,00$; et l'étage, pour hauteur totale : $c' + e' = c + e = 5^m,00 + 3^m,00 = 8^m,00$. La formule (7) donne dès lors : $\rho_4 = 0,416$. On retire donc environ deux cinquièmes de la tranche intermédiaire, en abandonnant les trois autres cinquièmes.

§ 3

EXEMPLES

393 — Les dispositifs généraux que je viens de décrire dans leur plus grande simplicité, se compliquent, pour certaines mines, de détails attentivement étudiés, et qui méritent d'être connus, afin que l'on puisse se faire une idée plus juste des ressources que présente, pour l'exploitation souterraine, le principe de l'abandon des massifs. Je présenterai, d'après ce motif, un certain nombre d'exemples, empruntés aux carrières d'ardoise, et aux mines de combustible, de sel ou d'étain.

Ardoisières de Trélazé (Maine-et-Loire), (fig. 272) [1]. — Le terrain de transition des environs d'Angers présente une bande schisteuse dirigée vers N. 70° O., et renfermant notamment quatre veines ardoisières exploitables : celles de l'Union et de la Porée, et surtout celles du Nord et du Sud, ou des Petits et des Grands Carreaux.

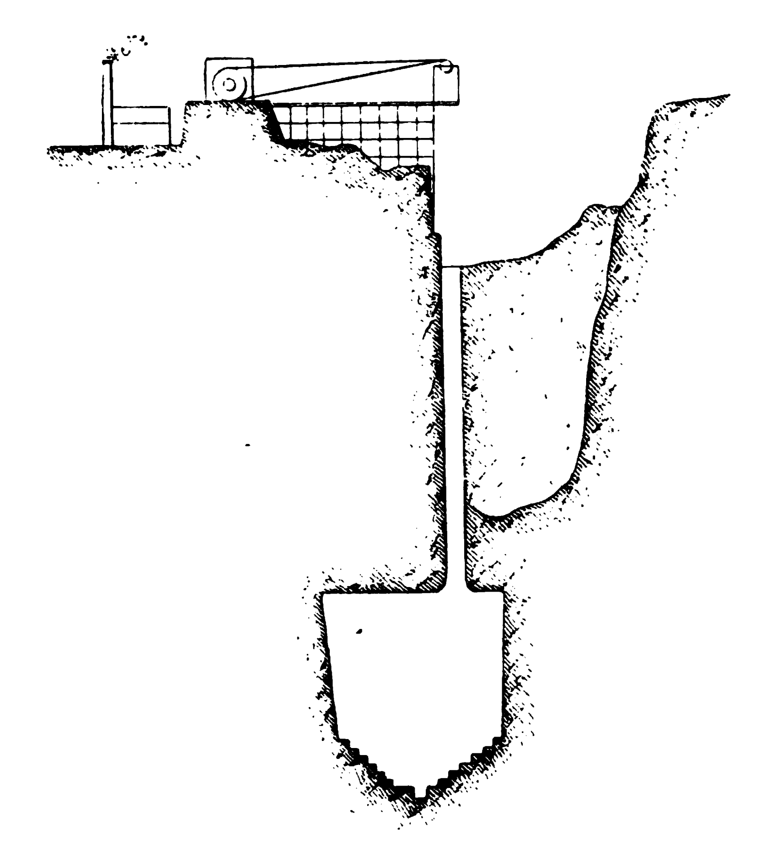


Fig. 272. Ardoisières de Trélazé (coupe verticale).

Elles sont inclinées vers le Nord, de 65° sur l'horizontale. Le plan de clivage est à peu près vertical, et fait un angle de plusieurs degrés avec la direction. Le schiste ardoisier n'affleure pas, en général, et ses pointements isolés manquent de fissilité. Le chapeau des

(1) Blavier, *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*, 1863, p. 31.

veines s'est altéré; il porte le nom de *cosse*, et a retardé jusque vers le XII[e] siècle la découverte de ces utiles gisements.

L'exploitation se fait, d'une part, à l'aide de magnifiques découverts, sur lesquels nous aurons occasion de revenir (n° 545) et, en outre, par la première variante de la méthode des cloisons (n° 387), au moyen d'immenses chambres de 35 à 50 mètres, suivant l'horizontale, sur une hauteur qui atteint 100 mètres environ aux Grands Carreaux. On les a nommées assez justement des *carrières à ciel ouvert sous voûte*.

Pour établir un de ces chantiers, on commence par gagner la profondeur nécessaire, à l'aide d'un puits vertical de 3 mètres sur 5 mètres, puis on pousse, dans le sens du *fil-de-pierre*, une galerie jusqu'aux extrémités de la chambre. On trace également une voie perpendiculaire. On bat alors au large en *gradins couchés*. On désigne par cette expression un front de taille présentant des *décrochements* en zigzag, pour que la roche soit dégagée sur deux faces, et plus facile à abattre. Lorsque l'on atteint le périmètre voulu, on commence la confection de la voûte. Celle-ci étant terminée, l'on exécute la foncée en gradins droits, comme dans une carrière à ciel ouvert, en élargissant et approfondissant la chambre jusqu'aux limites de la sécurité. On surveille constamment la solidité des parois. Elles sont, à cet effet, revêtues d'un réseau de cheminements, horizontaux ou inclinés, qui servent à examiner de près le rocher. Nous verrons plus tard (chap. XLVI, § 1) comment l'éclairage au gaz, et, depuis, l'éclairage électrique, sont venus améliorer les conditions de l'exploitation de ces immenses espaces souterrains.

394 — *Ardoisières de Rimogne* (Ardennes), (fig. 269) [1]. — La couche principale de schiste ardoisier de Rimogne affecte la forme d'un coin dans le sens de la direction, et présente une inclinaison d'environ 45°. Sa puissance, qui se réduit à zéro vers l'est, atteint 50 mètres à l'ouest.

Cette masse est exploitée, à la carrière de la Grande-Fosse, par la méthode des piliers longs (n° 386). On enlève le schiste par cham-

[1] Blavier. *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*, 1863, p. 66.

bres carrées, appelées *ouvrages*, de 13 à 15 mètres de côté, entre lesquelles on ménage des piliers de 10 à 12 mètres, que l'on dispose en décrochements plus ou moins réguliers (fig. 269), afin de chercher les portions les plus compactes, en évitant les filières naturelles.

395 — *Houillères sous-marines de Whitehaven* (Cumberland), ([1]). — Les mines de houille de Whitehaven, situées sur la côte occidentale d'Angleterre, s'étendent sous la mer d'Irlande jusqu'à deux kilomètres au large. Bien que l'exploitation se trouve à 240 mètres au-dessous du plan d'eau, cette situation exceptionnelle rend tellement indispensable d'éviter les moindres mouvements dans le toit, que l'administration, à la suite de divers accidents, a imposé, pour toute cette région, le mode d'exploitation par piliers tournés (n° 385).

A William-Pit, la couche main-band plonge sous la mer, avec une pente régulière de $0^m,14$ par mètre. On y pratique un traçage, en avançant au moyen de galeries de $5^m,50$ de large sur $2^m,40$ de hauteur, et abandonnant en couronne une planche de charbon de $0^m,80$, pour soutenir un mauvais toit. Les piliers, de forme carrée, ont $18^m,30$ de côté. Mais, quand on bat en retraite, à partir des limites du champ d'exploitation que l'on s'est fixé, on les refend en quatre, au moyen de traversées égales aux premières, c'est-à-dire de $5^m,50$ de largeur. Les piliers abandonnés ont donc $6^m,40$ de côté.

396 — *Wickel-system* (Nord du pays de Galles), (fig. 273) ([2]). — Dans des couches de 2 à 3 mètres de puissance, peu inclinées, peu grisouteuses, on conduit, dans un grand nombre des mines de cette région, une artère principale en inclinaison, sous la forme de deux galeries jumelles, séparées par un massif de 12 mètres, et reliées par des traverses d'aérage à des intervalles de 24 mètres (n° 371). Tous les 120 mètres, on y branche des artères secondaires constituées de la même manière, sauf qu'elles sont horizontales, et poursuivies

([1]) *PA*, Angl. 130.
([2]) *PA*, Angl. 158.

en direction sur 360 mètres de long. On rétrograde alors à partir des extrémités, en ouvrant des ouvrages montants qui présentent 18 mètres de front en direction, séparés par des piliers longs en inclinaison, d'une largeur trois fois moindre, qui sont perdus. Sur les deux faces de chaque pilier, l'on ménage dans les débris, formés de stérile et de menu que l'on abandonne, des galeries pour

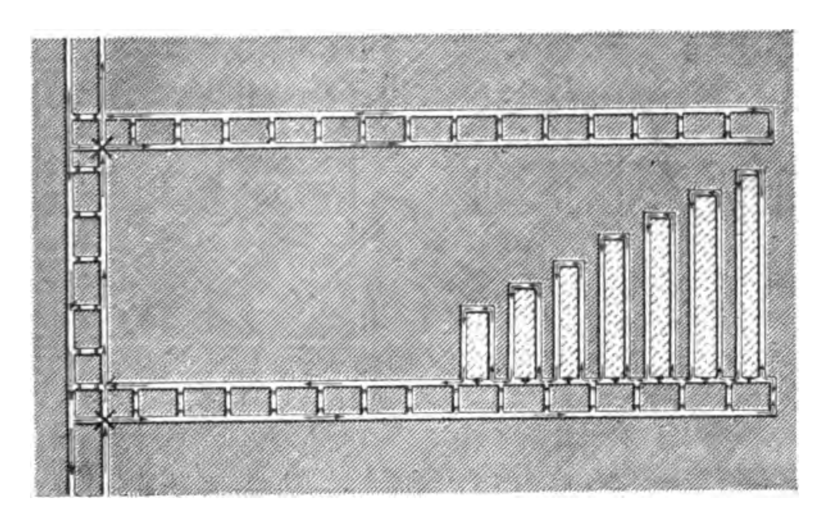


Fig. 273. Wicket-system (coupe par le plan du gîte).

l'entrée et le retour d'air, pour le roulage et la circulation des hommes. On réserve en outre, à l'aval pendage des artères chassantes, un massif de protection de 12 mètres, au pied duquel viennent s'arrêter les ouvrages montants, branchés sur l'artère inférieure.

397 — *Houillères de Sandwell park* (Stafforshire), (fig. 274) [1]. — Le Stafforshire renferme un banc de charbon, connu sous le nom de *Ten yards coal* ou *Dudley thick coal*, d'autant plus célèbre qu'il forme à peu près la seule couche vraiment puissante de toute l'Angleterre (n° 376). Les puits de Sandwell park, entre Dudley et Birmingham, l'ont rencontrée à 400 mètres environ, et traversée

[1] *AP*, Angl., 185.

sur une épaisseur totale de $11^m,55$, formée de $8^m,20$ de bon char-

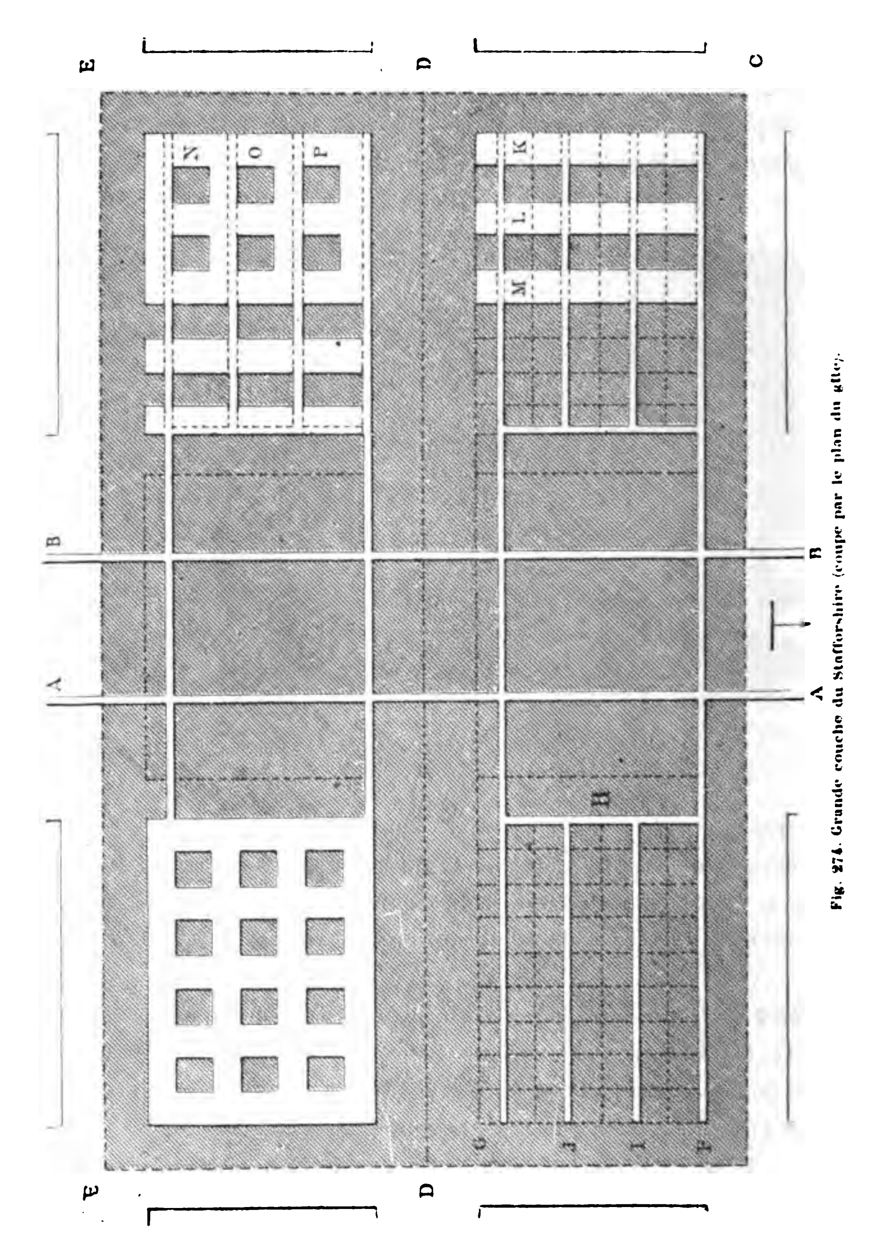


Fig. 274. Grande couche du Staffordshire (coupe par le plan du gîte).

bon, et $3^m,55$ d'alternances subordonnées de minerai de fer et de

combustible, que l'on n'exploite pas. L'inclinaison est de 0,222.

De la recette, placée à la rencontre du puits et de la couche, on a fait partir une artère de communication, formée de deux galeries jumelles, séparées par un entre-deux de 36^{m},50, avec recoupes d'aérage tous les 45^{m},70. Ces galeries, comme toutes les suivantes, sont ouvertes sur 2^{m},75 de large et 1^{m},85 de hauteur. Les travaux de dépilage, au contraire, se font ensuite sur toute la hauteur, et en gradins renversés (fig. 125 et 126) à cause de cette grande élévation. (Cette artère générale n'est pas représentée sur la figure 274.)

Tous les 260 mètres, on y branche de nouvelles voies doubles montantes, avec 33 mètres d'entre-deux. Elles serviront d'artères secondaires, pour une série de zones d'une largeur constante de 260 mètres en direction, qu'elles partagent par le milieu, et qui sont placées à l'amont-pendage les unes des autres, avec une relevée de 75 mètres suivant l'inclinaison. (La figure 274 montre un tronçon AA, BB d'une de ces artères secondaires, et deux zones distinctes CCDD, et DDEE.)

Chacune de ces zones est destinée à former trois chambres, de 74 mètres en direction sur 58^{m},50 en inclinaison. Elles sont cloisonnées par deux intervalles de 7^{m},50. En outre, les chambres extrêmes sont séparées de celles des zones voisines par d'autres massifs de 23 mètres suivant la direction et 16^{m},50 suivant l'inclinaison. Toutes ces cloisons seront finalement abandonnées.

Enfin, chaque chambre est partagée en sept bandes horizontales, de neuf rectangles chacune. De ces 63 cases, 51 sont enlevées et 12 subsistent sous forme de piliers abandonnés. Ils sont destinés, comme les entre-deux, à soutenir le toit, au moins pendant l'exploitation, car il finit tôt ou tard par s'ébouler. En outre, les cloisons servent de remparts éventuels contre les incendies, qui prennent facilement naissance, et que l'on arrive plus facilement à cerner, en n'ayant à barrer que les percements pratiqués à travers ces entre-deux.

398 — La succession des opérations s'effectue de la manière suivante. On atteint, à partir de l'artère secondaire A, à l'aide de

deux galeries F, G, l'aval-pendage des bandes inférieures et supérieures des chambres extrêmes. On relie les galeries, dès l'entrée dans la chambre, par un montage H, sur lequel on branche, à l'aval-pendage de la troisième et de la cinquième bande, les galeries I, J. (La chambre inférieure de gauche montre, sur la figure 274, cet état de choses.)

On bat alors au large en montant, à partir de ces galeries, pour vider les bandes en inclinaison K, L, M, en commençant par celles du fond de la chambre. (La chambre inférieure de droite est figurée d'après ce degré d'avancement des opérations.)

Avant que toutes les bandes inclinées soient terminées, on reperce en direction leurs entre-deux, en rétrogradant sur l'artère secondaire, de manière à isoler les piliers définitifs N, O, P. (La chambre supérieure de droite représente cet état de choses, et tout se termine par le type de la chambre supérieure de gauche.)

Quant aux chambres centrales, elles ne sont prises qu'après celles de droite et de gauche. Elles sont d'ailleurs exploitées, non pas d'un côté à l'autre, comme les précédentes, mais en rabattant de chaque côté vers les voies jumelles qui les partagent par le milieu. Celles-ci sont conservées dans le ferme, au-dessous des chantiers, qui n'exploitent que l'épaisseur située en couronne au-dessus de ces voies.

399 — *Mines d'anthracite de Wilkes-Barre*, (Pennsylvanie), (fig. 275) [1]. — Le terrain anthracifère de Pennsylvanie, encaissé dans la formation dévonienne, couvre 1400 kilomètres carrés, et a produit en 1880 près de 27 millions de tonnes, c'est-à-dire presque moitié plus que la France. Il comprend trois bassins principaux : ceux de Pottsville, de Mahanoy et de Wyoming. Chacun d'eux renferme au moins une dizaine de couches de 2 à 3 mètres d'épaisseur. La plus importante est celle du Mammouth, ou de Baltimore, dont la puissance se tient ordinairement entre 5 et 8 mètres, en atteignant même 20 mètres. L'anthracite est dure. Les

[1] Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 222. — Henry, *Bull. min.*, 2e, VII, 600. — Levasseur. *Génie civil*, III, 524.

roches encaissantes le sont encore plus. Elles sont formées de poudingues et de conglomérats à éléments quartzeux et ciment siliceux. Les couches ont été fortement relevées et plissées. Ces diverses données géologiques ont déterminé l'institution de la méthode suivante.

On divise la couche en étages de 50 mètres, dans chacun desquels on pratique des tailles, en laissant entre elles des piliers longs, de 5 mètres d'épaisseur. Ces entre-deux peuvent être considérés, en principe, comme abandonnés, bien qu'on les gratte en reculant, de manière à y reprendre ce que l'on peut, jusqu'à ce qu'ils deviennent menaçants. De plus, on ménage dans leur épaisseur des voies de sûreté, communiquant avec l'intérieur des chambres par de courtes recoupes.

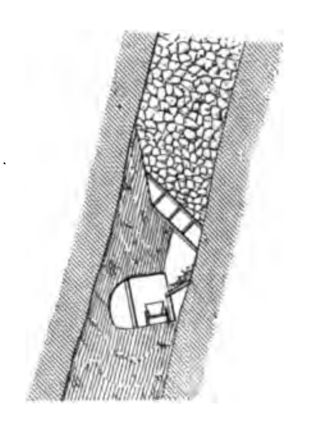


Fig. 275. Anthracite de Pennsylvanie (coupe verticale).

Dans les plateures, on avance suivant le pendage. Dans les parties plus redressées, on conduit les chantiers en demi-pente, de manière à conserver l'inclinaison voulue. Pour les parties décidément raides, on rétablit l'ouvrage suivant la ligne de plus grande pente, mais avec un dispositif tout particulier, qui rappelle la méthode de remblai pour le fonçage ascendant sous stot (n° 327). Les deux questions offrent en effet beaucoup d'analogie, puisque le chantier forme, dans le cas actuel, une sorte de puits incliné ouvert en montant.

A la base de l'étage, se trouve la mère-galerie chassante, sur laquelle sont branchées les tailles. Elles y débouchent par une cheminée, garnie d'une trappe, et pratiquée à travers un estau de protection. Sauf des passages ménagés pour l'air et pour les hommes, la chambre est remplie d'anthracite concassée, maintenue par un grillage en charpente. On ne vide par la cheminée, au fur et à mesure que le front de taille s'élève, suivi du remblai, que le trop-plein fourni par le foisonnement. Les piqueurs ont les

pieds sur ce remplissage, et abattent le combustible au-dessus de leur tête. Lorsque la chambre est arrivée à la limite de l'étage, on la vide complètement par la trappe.

400 — *Mine de sel gemme de Wieliczka* (Pologne), (fig. 276). — Dans une couche peu inclinée, chaque étage est déterminé par sa

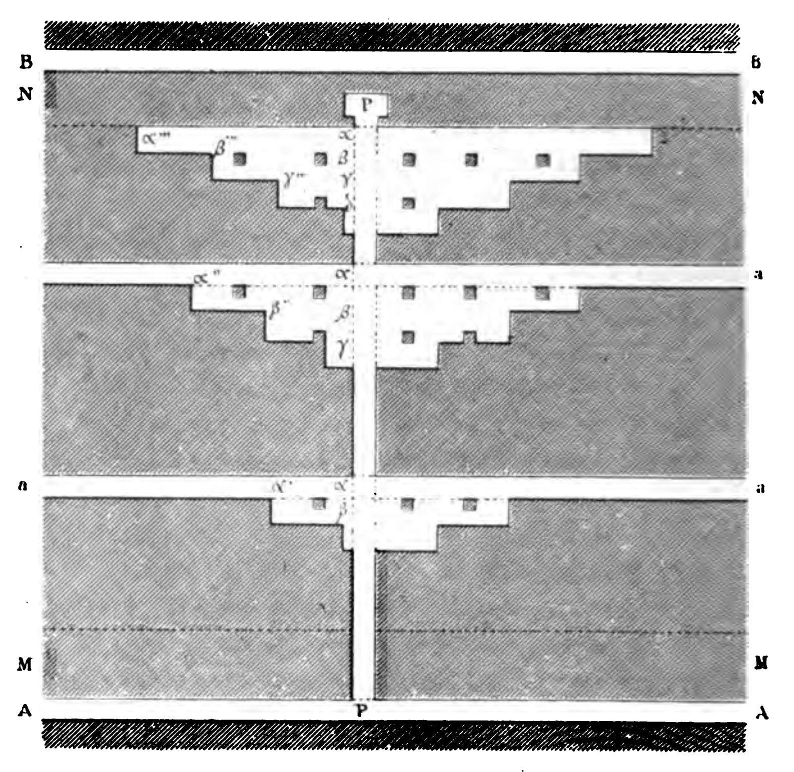


Fig. 276. Saline de Wieliczka (coupe par le plan du gite).

voie de fond A, et par celle B de l'étage supérieur. Il est divisé en sous-étages par un certain nombre de costresses *a*, *a'*. Des plans inclinés, tels que P, les relient toutes à la voie de fond A. Les divers sous-étages sont tous exploités de la même manière, sauf que, à l'amont-pendage du sous-étage inférieur, et à l'aval-pendage du sous-étage supérieur, on réserve des massifs continus de pro-

tection M, N, pour assurer la conservation des galeries-maîtreses A et B. Tel est le traçage.

Pour dépiler un sous-étage, on se développe symétriquement sur les deux ailes, à partir de chaque plan incliné. Ces ouvrages sont conduits en gradins couchés. On a soin de laisser derrière soi un quinconce de piliers tournés, pour soutenir le plafond. L'avancement s'opère en chassant; c'est-à-dire qu'une équipe, partant de l'angle supérieur α du lopin, s'avance en direction. Quand elle est arrivée en α', un second poste attaque en β. Lorsque tous les deux sont parvenus en α'', β'', un troisième gradin est ouvert en γ, et ainsi de suite.

401 — *Mine de sel potassique de Stassfurth* (Magdebourg), (fig. 277, 278) [1]. — Le célèbre gîte de Stassfurth est situé dans la partie inférieure du trias. Il renferme, en même temps que le chlorure de sodium, qui n'y présente, au point de vue industriel, qu'une importance effacée, une épaisse formation de chlorure de potassium, d'où ces mines tirent leur principal intérêt, et dont la découverte a déterminé une perturbation complète dans le commerce de la potasse. Divers sels multiples accompagnent ces deux matières principales : gypse, anhydrite, polyhalite, kiésérite, carnallite, stassfurthite, etc. Cette lentille, dont l'épaisseur se réduit à rien sur les bords, présente dans le centre une puissance, encore inconnue, mais certainement supérieure à 150 mètres.

La partie exploitée est inclinée entre 35 et 40 degrés. Elle présente une trentaine de mètres de traversée horizontale. On la prend par la méthode des piliers et estaus (n° 388). Les tranches ont 8^m,50 de hauteur, et sont séparées par des estaus de 4 mètres d'épaisseur. Une grande galerie d'allongement, de 8^m,50 de largeur avec une hauteur égale, règne le long du mur. Une galerie plus petite, de 2 mètres sur 2 mètres, se trouve au toit. L'entre-deux est divisé en piliers d'une vingtaine de mètres, sur 6 mètres en direction, par des traverses de 8^m,50 de largeur, ouvertes sur une hauteur égale.

[1] Fuchs, *Annales*, 6e, VIII, 1.

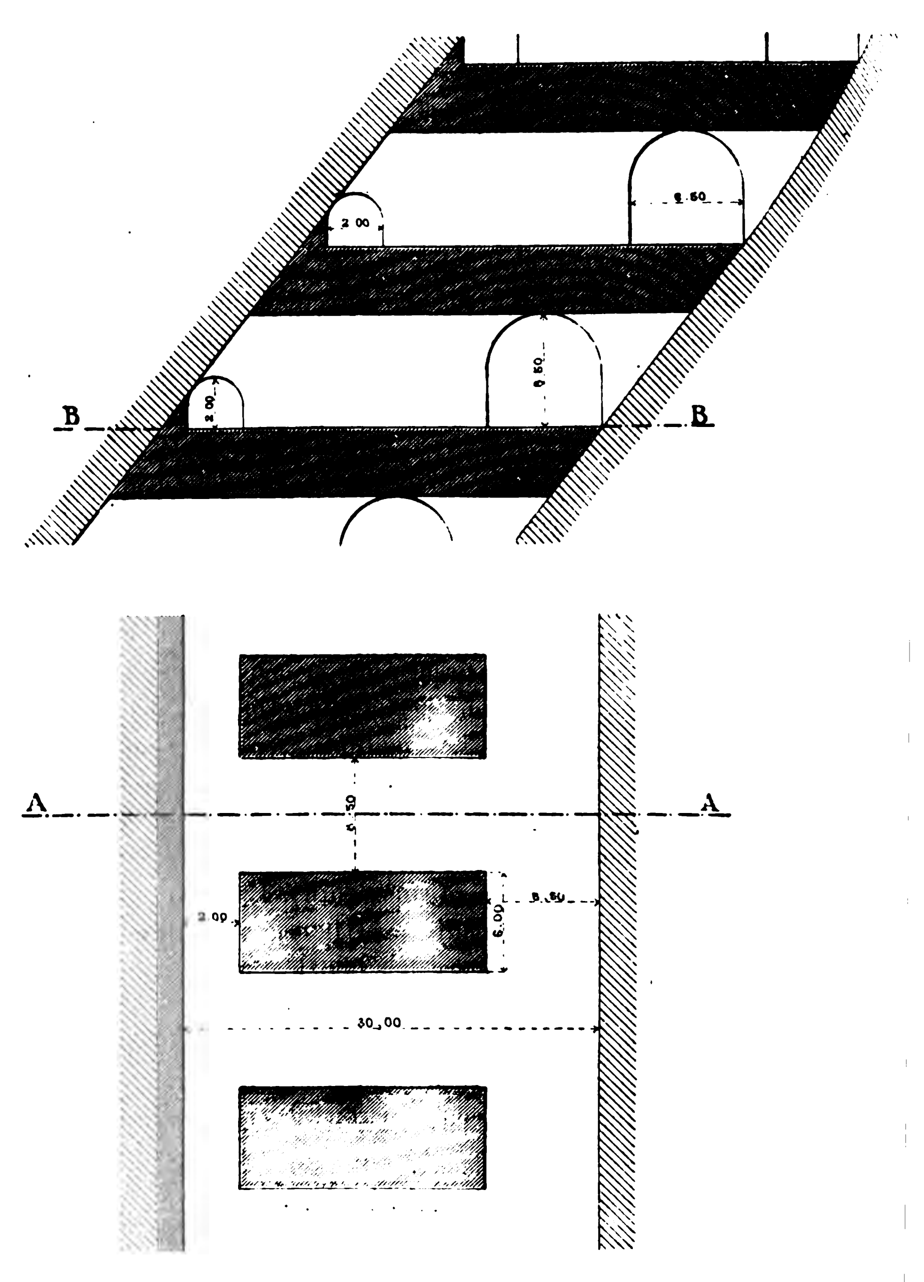


Fig. 277 et 278.
Sel potassique de Stassfurth (coupes verticale et horizontale suivant AA et BB).

402 — *Mines de sel gemme de Marmaros* (Hongrie), (fig. 279, 280) [1]. — La puissante formation de sel du comitat de Marmaros appartient à l'étage miocène, et s'étend sur toute la longueur de cette province. Les roches encaissantes ont subi des actions extrêmement marquées de redressement et de froissement, qui sembleraient indiquer une influence éruptive de soulèvement, si cette hypothèse n'était aussi difficile à concilier avec la nature du chlorure de sodium. Le sel affleure en certaines places. Dans d'autres, il se dissimule sous un recouvrement d'argile d'un noir bleuâtre, qui atteint jusqu'à 40 mètres d'épaisseur, et forme alors une très utile défense contre l'infiltration des eaux. En certains endroits, cette couche est remplacée par un diluvium. La puissance de la masse saline est inconnue. On a dépassé 150 mètres sans voir s'altérer sa pureté.

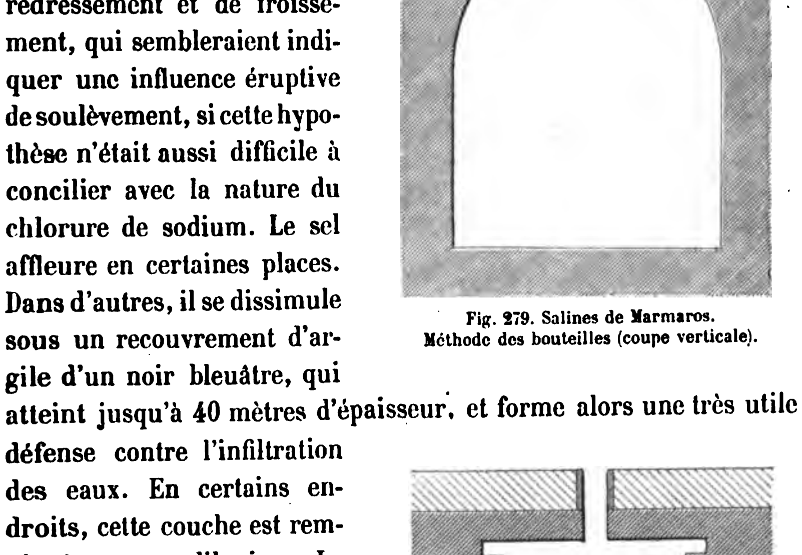


Fig. 279. Salines de Marmaros. Méthode des bouteilles (coupe verticale).

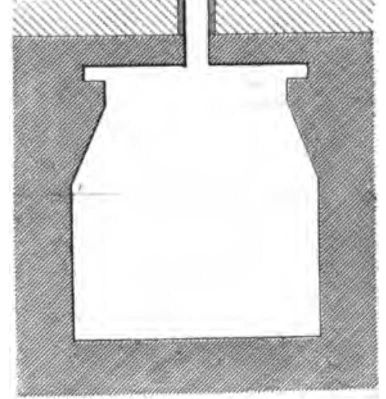


Fig. 280. Salines de Marmaros. Méthode des chambres (coupe verticale).

A une époque très reculée, qui paraît voisine de l'année

[1] Serlo, *Leitfaden zur Bergbaukunde*, I, 495. — *Mémoires inédits* de M. Henriot, élève ingénieur des mines, sur les mines de sel du comitat de Marmaros (1880), et de M. Tauzin, élève ingénieur des mines, sur les salines de Transylvanie (1880).

600 après J.-C., on a commencé à exploiter *par bouteilles* (nº 385). On s'enfonçait à l'aide de deux puits, séparés par une distance de 6 à 8 mètres (fig. 279). L'un d'eux servait à l'extraction, et l'autre à la circulation du personnel. Après la traversée du recouvrement, et d'un estau de protection d'une dizaine de mètres dans le sel, on réunissait les deux percements, et l'on s'élargissait progressivement, en cercle ou en ellipse, jusqu'à une largeur de 50 à 75 mètres, après quoi, l'excavation s'enfonçait verticalement, jusqu'à ce que l'irruption des eaux, ou des menaces d'éboulement, fissent abandonner la mine, que l'on rouvrait plus loin, à une distance suffisante pour assurer la solidité des parois de séparation.

Certaines de ces chambres, dans des conditions favorables, ont duré deux et trois siècles. La cloche d'Apafy formait une ellipse de 52 mètres sur 62, avec une hauteur sous clef de 120 mètres. On a atteint jusqu'à 147 mètres de hauteur, sur 47 de diamètre.

403 — En 1777, le Bergmeister Grosschmidt substitua au système circulaire, qui donnait lieu à une perte énorme (nº 390, note), un réseau de chambres parallélépipédiques très allongées, se rapprochant de la méthode des piliers longs (nº 386).

On pratique au cerveau (fig. 280), des galeries munies de garde-corps, sous la sole desquelles on s'élargit à 45 degrés, jusqu'à donner aux chambres une largeur de 40 à 45 mètres, à partir de laquelle on s'approfondit suivant la verticale. Le sel s'enlève par tranches successives, que l'on débite à l'aide de rouillures, ou bien en gradins droits.

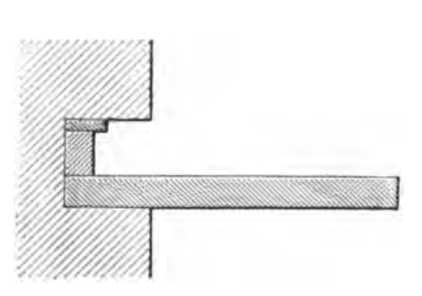


Fig. 281. Salines de Marmaros.
Balcon de surveillance (coupe verticale).

A Rônaszek, la chambre Marie-Thérèse avait une profondeur de 134 mètres, une longueur de 206 mètres, une largeur de 68 mètres : c'est-à-dire un volume de plus de 1 800 000 mètres cubes. A Szla-

tina, la chambre Cunégonde présente une profondeur de 65 mètres, une longueur de 381 mètres, une largeur, assez variable, de 50 à 60 mètres en moyenne.

Des galeries de visite règnent le long des parois. On les établit en encorbellement avec une grande hardiesse (fig. 281). Des madriers sont encastrés, au moyen de blocs de bois, dans des potelles pratiquées en plein sel. Leurs joints sont rapidement consolidés par les eaux saturées de chlorure de sodium, qui s'évaporent à l'air. C'est là d'ailleurs l'explication de l'extraordinaire solidité de pareilles voûtes. Les criques résultant des tassements sont bientôt ressoudées par les infiltrations, et la roche forme ainsi perpétuellement une masse compacte, incessamment reconsolidée.

404 — *Mine de sel gemme d'Hallstadt* (Salzkammergut), (fig. 282, 283) [1]. — La formation salifère de Hallstadt appartient à l'étage moyen du keuper. La masse de sel, presque verticale, est enveloppée d'un calcaire marneux. Elle est elle-même très imprégnée de matières terreuses, et ne contient que 70 à 75 °/₀ de chlorure de sodium. Cette circonstance oblige à procéder par dissolution et cristallisation, pour donner au produit une valeur marchande. Dès lors, on s'est trouvé tout naturellement amené à pratiquer la dissolution dans le sein même de la montagne, de manière à y abandonner, sans déplacement, le résidu stérile, et à n'évacuer au dehors que la matière utile, avec l'eau qui lui sert de véhicule. La nécessité de confiner ainsi dans des espaces limités cette action dissolvante, a conduit à l'emploi de la méthode des cloisons et estaus (n° 388).

La formation est partagée en un certain nombre d'étages, d'une quarantaine de mètres de hauteur, au moyen de plans horizontaux conduits par chacune des galeries d'écoulement, ou *stollen*, que l'on pratique à des hauteurs successives. Chacune d'elles forme l'artère d'exploitation de la tranche, à la base de laquelle elle se trouve. Des galeries secondaires y sont branchées tous les 60 ou 80 mètres, et se correspondent, autant que possible, en projection,

[1] Keller, *Annales*, 6ᵉ, II, 1.

d'un étage à l'autre. Elles aboutissent aux diverses chambres de dissolution de cette tranche.

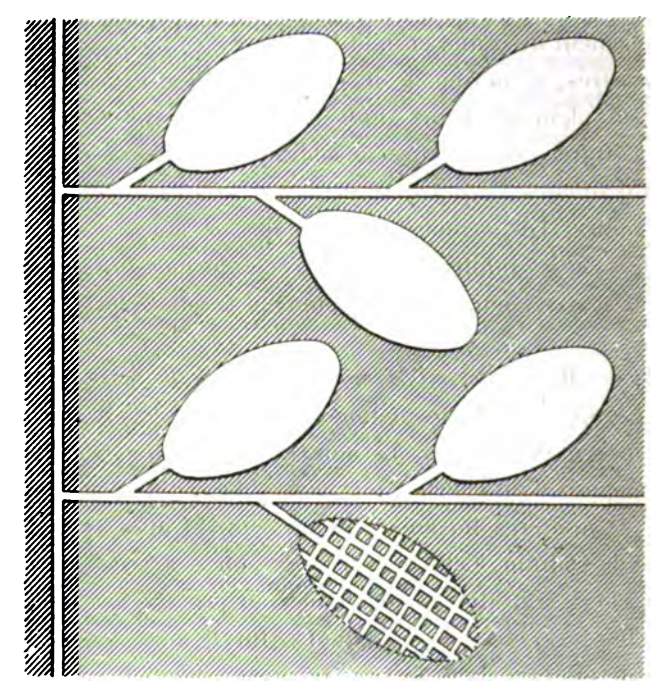


Fig. 282. Méthode hydraulique du Salzkammergut (coupe horizontale).

Pour créer une chambre. on commence par brancher sur sa galerie de desserte un réseau de voies en quinconce, divisant en

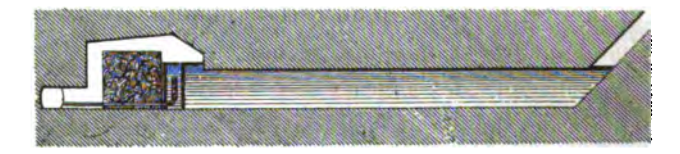


Fig. 283. Méthode hydraulique du Salzkammergut (coupe verticale).

piliers de 3 à 4 mètres de côté toute la base de cette chambre, sur une hauteur de 2 ou 3 mètres, une vingtaine de mètres de largeur, une cinquantaine de mètres de longueur. A l'extrémité, la galerie

d'axe se relève en forme de montage, à 45 degrés d'inclinaison. Elle reçoit, par la partie supérieure, les eaux pures, amenées par la canalisation générale de la mine. A l'aide de digues, percées de conduites que l'on munit de robinets, on ferme le débouché de la chambre, et on la remplit d'eau, sans laisser la charge s'élever à plus de quelques centimètres au-dessus du plafond. Sous cette action délayante, les piliers s'affaissent bientôt. On les abat, après avoir vidé la chambre, qui se trouve prête alors pour l'exploitation normale.

405 — La dissolution peut être conduite suivant deux modes différents : *continu* ou *discontinu*. Dans la méthode discontinue, qui est la plus ancienne ([1]), on laisse périodiquement écouler toute l'eau salée, en la remplaçant par de l'eau pure. Dans la marche continue, au contraire, la chambre n'est jamais vide. On ne laisse sortir qu'une partie seulement de l'eau, quand elle est parvenue à 26 °/₀ de salure, et on la remplace par une quantité équivalente d'eau pure. Le plafond n'est donc jamais à sec, et sa solidité se maintient mieux qu'avec des alternatives.

Toutes les fois que le bain a repris son pouvoir dissolvant, par l'introduction d'une certaine quantité d'eau fraîche, il recommence à attaquer le plafond et le pourtour. L'argile, ainsi privée du sel qui lui donnait de la consistance, tombe en boue sur la sole, qui s'élève, tandis que le plafond s'exhausse lui-même. En même temps, la chambre s'élargit successivement; car les couches que leur densité maintient à la base sont saturées, et ne corrodent plus la paroi, l'augmentation de diamètre ne se produisant, dès lors, qu'à la partie supérieure, où surnagent des eaux plus pures et plus dissolvantes.

Cet élargissement est en outre plus marqué, pour le même motif, au commencement de la période que vers la fin. Il affecte donc la forme AB, et l'ensemble de toutes les opérations le profil ABC (fig. 284). L'évasement total sera, d'après cela, plus accentué qu'avec la méthode continue, dont la période AB' n'est autre que *la fin* de la période AB, c'est-à-dire la partie la plus redressée de cette

([1]) Les archives de la mine indiquent qu'elle y a été introduite en 1311 par un ingénieur venu de Hall, où elle fonctionnait déjà antérieurement.

courbe. En n'accumulant que les parties raides de ce diagramme AB, on doit naturellement moins s'élargir, que si l'on en fait intervenir tout le développement, y compris ses parties plates. La méthode continue permet donc de serrer davantage les chambres les unes contre les autres, et de mieux utiliser le champ d'exploitation, sans perdre autant par les cloisons.

En ce qui concerne la rapidité de la marche ascendante, elle sera plus grande pour la marche discontinue, qui renouvelle le bain avec de l'eau pure, que dans la nouvelle méthode, qui reste toujours aux teneurs voisines de la saturation. Si nous raisonnons dans l'hypothèse de ce mode discontinu, la surélévation du plafond sera, pour chaque opération, en raison directe de la hauteur actuelle, puisqu'il y a d'autant plus d'eau chargée de coopérer à la dissolution de cette petite zone. Il importe donc de commencer l'exploitation sur une hauteur suffisante. La vitesse variera, en même temps, en raison inverse de la richesse du gîte, puisque la saturation se produira pour une pénétration d'autant moindre. Le nombre des opérations sera donc proportionnel à la teneur du gisement. L'élargissement augmente par suite d'autant, et dès lors il est important de ne pas commencer avec des dimensions horizontales exagérées, de peur que l'évasement n'arrive à trop affaiblir les cloisons, vers la fin de la propagation en hauteur.

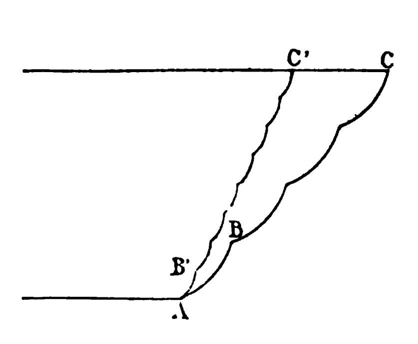


Fig. 284.

Le mètre cube de saumure revient à 1 fr. 58. Il faut 3^{mc},6 pour fournir une tonne de sel. Le prix de celle-ci ressort par conséquent à 5 fr. 70, c'est-à-dire à un chiffre peu différent de celui des exploitation des gîtes de sel gemme par le mode ordinaire.

406 — *Mine d'étain d'Altenberg* (Saxe), (fig. 285) (¹). — Le gîte

(¹) Serlo, *Leitfaden zur Bergbaukunde*, I, 439.

d'Altenberg consiste dans une masse d'elvan, ou de horsteinporphyr, contemporaine de la venue de l'étain, qui l'a imprégnée complètement.

On traite les parties profondes de ce stockwerk par la méthode des cloisons et estaus. Ces derniers sont d'environ 4 mètres d'épaisseur, et séparent des tranches d'exploitation de 12 à 15 mètres de hauteur. On y pénètre avec des travers-bancs partant du puits. On glane dans cet étage, au moyen de chambres de 12 à 18 mètres de diamètre, en

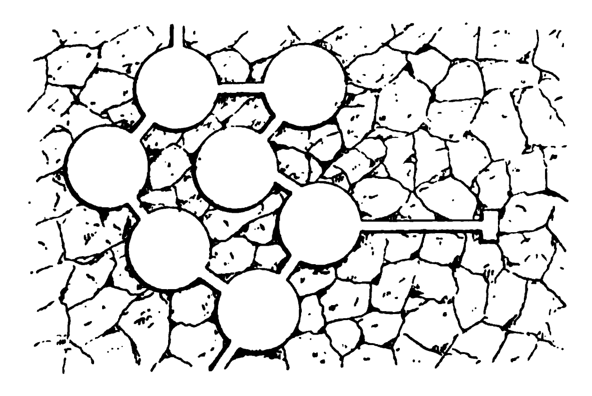


Fig. 285. Mine d'étain d'Altenberg. Cloisons et estaus (coupe horizontale).

furetant dans toutes les directions, pour exploiter les parties riches, et laisser les plus pauvres dans la masse du squelette abandonné.

On s'attache, dans la mesure du possible, à faire correspondre d'étage en étage les chambres et les cloisons suivant la verticale. Il est malheureusement difficile, d'après l'irrégularité de ce glanage, de se conformer à cette salutaire prescription. Aussi des crevasses ne tardent pas à se produire, et la mine d'Altenberg a été plusieurs fois (chap. XLVIII, § 2) le théâtre d'effondrements formidables.

CHAPITRE XVIII

GÉNÉRALITÉS SUR LE FOUDROYAGE

—

§ 1

DESCRIPTION DU FOUDROYAGE

407 — *Foudroyage d'un toit neuf.* — Le second principe fondamental de l'exploitation souterraine consiste à sacrifier l'excavation, quand elle a joué son rôle utile, afin de ne pas perdre la quantité de minerai renfermée dans les parois qu'il faudrait abandonner, si l'on appliquait le principe précédent pour la conservation du vide. On laisse donc tomber le toit, lorsque la matière utile est retirée, et que les hommes sont en sûreté. Ce phénomène a reçu des noms divers, tels que ceux d'*éboulement*, *effondrement*, *tombée*, *écrasée*, *foudroyage*. Les méthodes auxquelles il sert de base seront appelées *méthodes de foudroyage* [1].

Cette expression demande cependant à être fixée avec précision, pour ne donner prise à aucune confusion. Dans la première partie de ce siècle, en effet, on exploitait encore certaines houillères, en y pratiquant des vides dans lesquels on laissait tomber indéfiniment le charbon supérieur, susceptible d'y couler de lui-même par

[1] On les nomme aussi *méthodes d'éboulement*, et même *méthodes de dépilage*. Mais, sans vouloir attacher une rigueur exagérée à l'emploi de ces différents termes, nous réserverons, autant que possible, l'expression d'éboulement pour les accidents fortuits qui surprennent le mineur, bien loin qu'il ait cherché à les provoquer ; et celle de dépilage, pour la période qui succède au traçage, dans celles des méthodes, de foudroyage ou de remblayage indifféremment, qui comportent ces deux phases pour le déhouillement.

éboulement. Avec ce procédé barbare, on est arrivé à compromettre les plus beaux gîtes, en les disloquant au point de les rendre inexploitables, et y développant partout l'incendie. Telle était alors la *méthode de foudroyage*, et l'expression en a conservé un mauvais renom. Mais nul ne songerait aujourd'hui à faire revivre de pareils errements [1]. Cette dénomination demeure donc sans emploi, et nous pouvons la reprendre, pour l'appliquer à *la chute du toit stérile et non de la masse utile*, qui constitue au contraire une formule d'exploitation parfaitement rationnelle.

Il n'est que juste, cependant, de dire qu'elle a incessamment perdu du terrain, depuis une quarantaine d'années, devant l'emploi du remblai. Mais, néanmoins, on peut admettre que la plus grande partie du charbon sorti chaque année du sein de la terre, au moment actuel, l'est encore par les méthodes de foudroyage. Le juste rapport d'importance de ces deux principes une fois établi, ainsi que leur exacte adaptation à des circonstances différentes et bien déterminées, on doit les considérer comme destinés à subsister côte à côte, tout comme celui de l'abandon des massifs, sans qu'aucun des trois soit appelé à disparaître.

408 — Les conditions de la tombée sont absolument opposées, suivant que l'on se trouve sous un toit neuf ou sous d'anciens éboulis. Considérons d'abord le cas d'un plafond non remanié.

S'il présente une solidité *moyenne*, capable de se maintenir sans soutènement sur 3 ou 4 mètres de portée, et pendant un temps suffisant, *prévenant* alors de sa chute prochaine par des bruits caractéristiques, ou d'autres symptômes suffisamment nets, les conditions seront aussi favorables que possible pour l'application du principe de foudroyage.

Si le toit ne se tient pas, ou s'il a le défaut de tomber brusquement, sans avertir par aucun signe précurseur, on le soutient sur des buttes. Ce sont elles, ensuite, qui, en se tortillant et se fendillant, annoncent au mineur que *la charge donne*, tout en retardant

[1] Sauf pour le cas tout particulier des *chambres d'éboulement*, destinées à procurer du remblai, aux dépens de masses stériles sans valeur (n° 418).

encore un peu l'écroulement. Ordinairement, on laisse ces pièces de bois prises sous les éboulis. Lorsqu'on le peut, cependant, on en retire le plus possible par les procédés qui ont été déjà indiqués (n° 240). On règle d'ailleurs ce soutènement, de telle sorte que l'écrasée suive le front de taille à une distance à peu près constante. Si on lui laisse prendre de l'avance, les hommes peuvent courir de grands dangers, et, dans tous les cas, la taille se trouve démontée. Il s'ensuit un retard, pour la rétablir dans son état normal. Quand on redoute un tel accident, on fait des *redoublements* de buttes, en intercalant de nouveaux bois dans les intervalles des files déjà établies.

Si, inversement, le toit est trop solide, on peut s'abstenir de tout soutènement. Tout au moins, si on l'emploie par prudence, pourra-t-on, avec la réserve convenable, se livrer à la pratique du déboisage. A Pemberton (Lancashire), on voit ainsi le toit se tenir raide jusqu'à 50 mètres du front de taille, après que l'on a retiré les buttes. Dans de semblables conditions, on doit se préoccuper de déterminer la tombée, une fois que l'espace est absolument libre, sans permettre au vide de s'étendre ainsi indéfiniment. Il arrive alors, en effet, un jour ou l'autre, que d'anciens plafonds s'affaissent d'un seul coup sur de grandes étendues. De là, une énorme vague d'air, capable de faire sortir le grisou de ses repaires, et de provoquer des accidents. En outre, la fatigue du terrain et les tensions qu'elle développe, déterminent des déchirements, qui occasionnent des invasions subites de gaz, connues en Angleterre sous le nom de *out-bursts*. Quand on veut ainsi abattre le toit, on fait un redoublement, le long de la ligne de buttes à laquelle il convient de limiter l'écrasée, on prépare quelques pétards au delà, on déboise toute cette partie, et l'on fait sauter les coups de mine.

409 — *Foudroyage d'anciens éboulis.* — Supposons, en second lieu, que l'on repasse sous d'anciens éboulis. Certaines matières font prise sous l'énorme pression qu'elles subissent, et reconstituent une sorte de roche, équivalente aux anciens toits, ce qui ramène à peu près au cas précédent.

Mais, le plus souvent, ces matériaux sont durs et ne possèdent

aucune tendance à s'agglutiner de nouveau. Lorsqu'on les reprend en sous-œuvre, au bout d'un temps quelconque, on les voit alors couler directement à l'avancement, sans pouvoir se soutenir sur aucune longueur appréciable. Cette circonstance, diamétralement inverse des données précédentes, est loin d'être considérée comme fâcheuse par le mineur. Il est alors mieux maître des éboulements, dont il connaît l'allure, sans avoir à se préoccuper des inconnues d'un toit neuf. On modère cette coulée, en n'abattant le faîte que sur une étendue aussi restreinte qu'il sera nécessaire ; en lui opposant, soit en couronne, soit latéralement, une planche de charbon, dont on abandonne ce qui ne pourra être retiré sans danger ; ou en dressant des murs en pierres sèches, avec les matériaux de l'éboulement lui-même. Ce talus sert même au piqueur à s'échafauder pour attaquer la couronne.

Cette appréciation est tellement fondée que, dans certaines mines, où l'on retardait autrefois autant que possible, c'est-à-dire pendant deux ou trois ans, la rentrée sous les éboulements, pour leur donner le temps de refaire prise, on est ensuite passé d'un extrême à l'autre, en y revenant le plus tôt possible. Cette pratique est surtout à conseiller lorsqu'on est exposé aux incendies, *avec le feu sur la tête*, ce qui constitue le cas le plus fâcheux de tous. La nouvelle tombée a, dans ce cas, pour effet de rafraîchir les matières qui ont commencé à s'échauffer, et de prévenir leur inflammation.

§ 2

EFFETS DU FOUDROYAGE EN HAUTEUR

410 — Parmi les effets du foudroyage, le premier qui se présente à la pensée est la dislocation de la surface. Mais, à cet égard, il faut établir une distinction essentielle, en ce qui concerne le degré de profondeur.

Le toit se fragmente en tombant. Les morceaux, loin de s'emboîter exactement les uns dans les autres, de manière à reprendre leurs anciennes situations relatives, pour occuper le même espace, pro-

duisent des enchevêtrements quelconques, et, comme conséquence, une augmentation de volume, que l'on appelle le *foisonnement*. La propagation de l'éboulement en hauteur ne saurait donc être indéfinie, puisque le vide à remplir par cette dilatation de la masse éboulée est essentiellement limité. L'importance de la fragmentation va en s'atténuant peu à peu, et l'on arrive à une zone qui ne présente plus que quelques éclatements, sans descente appréciable de la masse. Au-dessus, enfin, le terrain reste inaltéré.

D'après cela, suivant que le sol se trouvera dans l'un ou l'autre de ces horizons, il sera affecté d'une manière variable. On peut donc conclure que si le foudroyage, appliqué à de faibles profondeurs, a pour effet inévitable de bouleverser la surface, il la respecte, au contraire, lorsque l'exploitation s'enfonce suffisamment.

Il est facile de traduire cette influence par une formule très simple. Supposons que chaque mètre cube de roche en place en occupe n après sa fragmentation; n constituera le *coefficient de foisonnement*. Soit h la hauteur du chantier, et H celle de la propagation en hauteur. Le volume H, situé au-dessus d'un mètre carré de projection horizontale, deviendra nH par son expansion. Il devra alors occuper, tout à la fois, son ancien emplacement H, et, en outre, l'excavation h qui se trouve comblée par ce foudroyage. On peut donc poser l'équation :

$$n\,H = H + h,$$

d'où l'on tire :

(1) $$H = \frac{h}{n-1};$$

valeur qui ne saurait croître au delà de toutes limites, que si n se rapprochait indéfiniment de l'unité [1].

[1] On peut citer à l'appui de ces vues l'exemple suivant. Dans une partie de la mine de Lens, les étages inférieurs avaient été disposés en vue du remblayage, mais l'étage supérieur a été pris par foudroyage; circonstance paradoxale en apparence, puisque cette zone est précisément la plus critique, et expose, par son éboulement, au danger de la rupture des dièves, qui protègent les travaux contre les eaux des morts-terrains. Mais cette pratique se justifie, en ce que l'on se trouvait suffisamment armé contre cette

411 — Si, au lieu d'une formation horizontale, on exploite une couche inclinée, on est assuré, d'après ce qui précède, d'avoir dans le voisinage de l'affleurement, une zone disloquée, et, à une distance suffisante, un sol inaltéré. La limite qui les sépare peut se déterminer de la manière suivante.

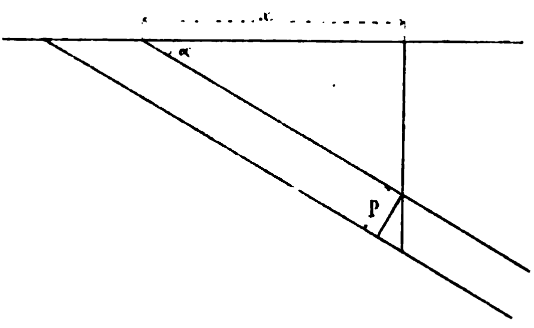


Fig. 286.

Appelons x sa distance à l'affleurement (fig. 286), p la puissance normale de la couche, et α son plongement. Sur un mètre carré de projection horizontale, que l'on prendrait précisément à cette limite, l'épaisseur du recouvrement, et, par suite, le volume qui surmonte le mètre carré, ont pour valeur : $x \operatorname{tang} \alpha$. Ce volume devient par le foisonnement $nx \operatorname{tang} \alpha$, et doit alors occuper la somme de son ancien emplacement : $x \operatorname{tang} \alpha$, et de la traversée verticale $\frac{p}{\cos \alpha}$ de la couche; d'où l'équation :

$$nx \operatorname{tang} \alpha = x \operatorname{tang} \alpha + \frac{p}{\cos \alpha}.$$

On en tire :

$$x = \frac{p}{(n - 1) \sin \alpha}.$$

éventualité, en raison de l'épaisseur de ces argiles, connue à l'avance par les sondages. On trouvait d'ailleurs à cette combinaison, l'avantage d'éviter la construction et l'entretien d'une voie de roulage, ouverte à la tête de la couche, sous le tourtia. Cette galerie eût été, sans cela, nécessaire pour introduire le remblai, qui doit toujours circuler en descendant; tandis que dans les autres étages, on profite, pour la circulation des terres destinées à chacun d'eux, de la voie de fond de l'étage supérieur. Sur d'autres points du bassin, au contraire, on ne craint pas d'abandonner sous le tourtia un massif de protection de 10, et même 20 mètres de relevée, quand on redoute de voir la propagation de la dislocation franchir l'épaisseur des dièves, trop amincies dans ces régions.

La largeur de la zone disloquée est donc en raison de la cosécante de l'inclinaison.

§ 3

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU FOUDROYAGE

412 — Le principe du foudroyage offre sur celui de l'abandon l'avantage d'éviter en théorie la pure perte et simple, qui est inhérente à ce dernier; et, sur le principe du remblayage, celui de supprimer le chapitre spécial de dépenses relatif au remblai. Mais, en revanche, il présente un grand nombre d'inconvénients.

C'est, en premier lieu, le danger évident auquel il expose les hommes, malgré toutes les précautions prises, lesquelles sont elles-mêmes, d'ailleurs, une occasion de dépenses. La statistique des accidents accuse, en effet, une différence sous ce rapport, entre les mines exploitées par foudroyage ou d'après les deux autres principes.

C'est, en second lieu, le gaspillage d'une partie du gisement; on ne peut, en effet, admettre qu'en théorie la possibilité d'effectuer, avant l'écrasée, l'enlèvement complet du minerai. Dans la réalité, l'on se trouve souvent contraint, par la prudence la plus élémentaire, de se retirer avant d'avoir pu obtenir ce résultat. La perte reste, bien entendu, beaucoup moins grande qu'avec le premier principe, mais plus importante qu'avec l'emploi du remblayage.

Comme corollaire, les méthodes de foudroyage exposent aux incendies, avec les combustibles inflammables, en raison de la fermentation des résidus emprisonnés dans les éboulis. Ces matières s'échauffent progressivement, et finissent par prendre feu, en communiquant l'embrasement de proche en proche. Cette circonstance peut encore se produire, lors même que l'on aurait réussi à enlever la totalité du combustible, si le toit renferme des lits de schiste inflammable.

Le principe du foudroyage est également contre-indiqué dans les charbonnages grisouteux. En effet, les éboulis se disposent au hasard, et laissent entre eux d'énormes vides, dans lesquels se

concentre le mauvais air. Les Anglais désignent sous le nom de *goaf* ce réservoir dangereux, formé par les anciens travaux. Au contraire, avec des remblais disposés de main d'homme, et aussi soigneusement qu'on le jugera nécessaire, on a l'avantage de restreindre beaucoup ces espaces nuisibles, et même de les supprimer complètement, lorsque la charge donne et vient ultérieurement comprimer toute la masse.

Ajoutons à cette liste d'inconvénients la difficulté d'entretenir au milieu du goaf, des voies de communication, qui exigent alors beaucoup plus d'entretien que dans le ferme, et laissent, quoi qu'on fasse, tamiser dans les éboulis une grande partie du courant d'air, lequel, abandonnant les circuits voulus, se dirige de lui-même, par la voie la plus courte, vers le point de sortie. De là, un assujettis sement dont il sera nécessaire de tenir compte, dans l'institution des méthodes de foudroyage.

§ 4

DIRECTION A DONNER AU FOUDROYAGE

413 — *Direction du foudroyage.* — La marche du déhouillement ne saurait être abandonnée à l'arbitraire, et doit procéder d'une manière déterminée.

Si le gîte est puissant, et divisé en tranches horizontales ou inclinées, on doit les prendre dans l'ordre descendant. La raison en est évidente. Si l'on opérait autrement, le foudroyage de la première tranche détruirait d'un seul coup toutes les autres; tandis qu'une tranche inférieure n'est nullement affectée par le dépècement de celles qui la surmontent verticalement.

Il est clair, d'ailleurs, que rien n'oblige, avec cette précaution, à terminer complètement une tranche dans tout son développement, avant de passer à celle qui lui est subordonnée. Il suffit d'observer la règle précédente pour chaque élément de la projection horizontale. Dès qu'une tranche se trouve déhouillée sur une étendue suffisante, et que son toit est éboulé, rien n'empêche, si l'on y trouve

quelque avantage, d'attaquer immédiatement, dans cette région, la tranche inférieure, tout en poursuivant les avancements de la première dans son propre plan.

414 — Si le gîte est mince et redressé, ou s'il s'agit d'une tranche inclinée, envisagée à part dans l'exploitation d'une masse puissante, le déhouillement doit reculer de l'amont-pendage vers l'aval-pendage. D'une part, c'est pour le motif qui vient d'être invoqué tout à l'heure, à savoir que l'enlèvement des parties inférieures compromet celles qui leur sont supérieures, tandis que la réciproque n'a pas lieu.

Mais il existe, en même temps, un autre motif. Le roulage doit, d'après un principe constant, s'effectuer autant que possible en descendant. De plus, nous avons signalé la difficulté de maintenir des voies de transport à travers l'éboulement. Il faut donc que l'aval-pendage du chantier soit occupé par le ferme, et que, comme conséquence, le goaf se trouve à l'amont-pendage.

Le même motif dicte la marche à suivre dans le sens de la direction. Il faut, dans les méthodes de foudroyage, dépiler *en reculant*, ou en *battant en retraite à partir des limites du quartier*, afin que les voies qui séparent le chantier de la base d'opérations, c'est-à-dire du plan incliné, se trouvent en plein massif et non dans les éboulis [1].

415 — Il suit de ce qui précède que les premiers piliers tracés seront les derniers dépilés, puisque le traçage commence à la base d'opérations, tandis que le dépilage revient s'y terminer en reculant.

Pour rendre ces massifs capables de supporter ce maximum de durée, il faut donc soigner particulièrement cette partie du traçage, attendu que ces piliers, plus fatigués que les autres,

[1] Ce principe est d'un usage universel. Cependant il ne saurait être pris pour un axiome, incapable de plier devant des convenances opposées. On peut même dire que les dérogations à cette formule se rencontrent surtout dans les modifications les plus récentes des méthodes anglaises. Nous en verrons plusieurs exemples : massifs longs avec dépilage transversal en décrochements (n° 426); *piller and stall with single or double stall* (n° 427); *longwall working outwards* (n° 429).

donnent ensuite plus de menu, et présentent plus de dangers pour leur dépilage (n° 374). Par-dessus tout, l'on doit proscrire énergiquement un abus, auquel ont souvent conduit des exigences commerciales, et qui consiste à refendre les premiers piliers, pour se procurer du charbon, avant que le traçage ait atteint les limites du quartier, de manière à permettre de commencer un dépilage normal et suffisamment productif.

Le moyen d'obvier à cette difficulté est tout différent. Il consiste à insister sur la division du champ d'exploitation en quartiers attaqués séparément, de telle sorte que ceux-ci, étant plus restreints, durent moins longtemps, et que le traçage en atteigne plus rapidement la périphérie. Il faut, en second lieu, élargir les mailles de ce traçage, au lieu de perdre du temps à les multiplier. On y gagne à la fois la vitesse, pour atteindre les limites du quartier; la solidité des piliers, pendant cette première phase; et la réduction à ce qui est inévitable, de la période de traçage, durant laquelle le rendement du piqueur reste inférieur à ce qu'il sera pendant le dépilage. La tendance s'accentue aujourd'hui dans ce sens, et l'on enlève au plus 30 pour 100 du gîte par le traçage, en reprenant 70 pour 100 en dépilage.

416 — Les tracés à maille serrée sont appelés réseau à ***massifs courts***, et ceux du second type : réseau à ***massifs longs***. Dans les premiers, le pilier présente la forme carrée, ou celle d'un rectangle qui s'en rapproche. L'ensemble, par conséquent, reste, sauf les dimensions, analogue aux dispositifs représentés par les figures 267 et 268. Dans les autres, au lieu d'amplifier le pilier dans tous les sens à la fois, on lui laisse une largeur limitée, tandis que l'on s'avance indéfiniment en longueur, dans le sens perpendiculaire à la base d'opérations, avant de rabattre vers elle en dépilant à partir de l'extrémité. On retrouve ainsi le type des piliers longs, qui nous est déjà connu (n° 386).

Le premier système est appliqué moins fréquemment que le second dans les charbonnages, attendu, qu'indépendamment des inconvénients généraux que nous venons de lui reconnaître, il complique beaucoup l'aérage et fatigue le charbon

En revanche il est très répandu dans les mines de fer, qui n'ont pas de grisou, et présentent beaucoup plus de solidité que le combustible.

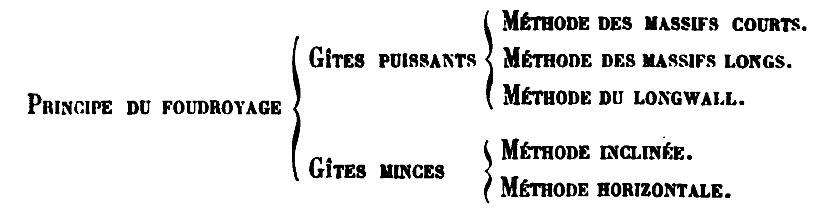
417 — *Méthodes de foudroyage.* — Ces considérations vont me permettre d'esquisser, dès à présent, la division rationnelle qu'il convient d'introduire dans les méthodes de foudroyage.

Nous distinguerons avant tout les gîtes minces et les gîtes puissants ; c'est-à-dire l'exploitation en une seule, ou en plusieurs tranches.

Dans les gîtes minces, nous envisagerons trois degrés distincts, suivant l'importance relative du traçage par rapport au dépilage. Lorsqu'elle atteint son maximum, elle fournit la méthode des massifs courts ; celle des massifs longs, quand elle est très tempérée. Enfin nous désignerons, avec les ingénieurs anglais, sous le nom de *longwall*, un type beaucoup plus moderne, dans lequel le traçage arrive à s'atténuer presque complètement, ou même à disparaître tout à fait.

Pour les gîtes puissants, il y aura lieu de distinguer deux cas, suivant que la subdivision en tranches sera effectuée à l'aide de plans conduits parallèlement à la stratification, ou de plans horizontaux.

En résumé donc, nous rattacherons toutes les applications du foudroyage, aux cinq méthodes fondamentales comprises dans le tableau suivant :



§ 5

CHAMBRES D'ÉBOULEMENT

418 — Avant de passer à la description systématique de ces méthodes, je terminerai ces généralités, en décrivant les *chambres*

d'éboulement; seul vestige qui subsiste aujourd'hui des anciennes méthodes fondées sur le foudroyage de la masse exploitable, et non du toit.

On ne les rencontre plus, en ce qui concerne des minerais proprement dits, que dans quelques parties d'anciennes mines effondrées, comme Fahlun (Suède), ou Altenberg (Saxe). On n'a pas alors, en effet, à redouter de produire les inconvénients qui ont fait rayer définitivement ce mode d'exploitation, puisqu'ils ont été, dès longtemps, consommés par la catastrophe qui a amené ces masses à l'état chaotique. Il ne reste plus qu'à y glaner ce que l'on pourra, en se glissant au travers des éboulis, et faisant couler ce qui peut descendre dans les places de sûreté relative, où le mineur s'installe pour les y appeler. Ce système achève de disparaître, mais, en 1806, Héron de Villefosse rencontrait encore 130 semblables ateliers à Altenberg.

Lorsqu'il s'agit de se procurer des remblais stériles, les chambres d'éboulement restent, au contraire, un organe de production, peu usité à la vérité, mais cependant parfaitement normal. On en rencontre, par exemple, dans la mine de pyrite cuprifère d'Agordo (Haute-Vénétie), et dans les houillères de Beaubrun et de la Béraudière. On les établit en s'enfonçant résolument dans les masses du toit, car on ne saurait songer à disloquer ainsi le mur du gisement. Je décrirai, comme exemple, la manière dont on installe à la Béraudière ces chambres d'éboulement.

419 — A partir de la galerie d'allongement A (fig. 287) placée au toit de la couche, on s'avance dans la roche par deux travers-bancs d'une longueur suffisante B, B_1. On établit à leurs extrémités deux têtes de boisage b, b_1, en très forte charpente, puis une galerie C perpendiculaire, quelques avenues $D, D_1, D_2, \ldots$, et enfin une recoupe générale E au revers. On pratique dans les piliers une certaine quantité de fourneaux, et l'on fait sauter le tout. On retire alors par B, B_1, en se protégeant à l'aide des têtes b, b_1, tout ce qui se trouve à portée, et, successivement, les matières qui viennent couler spontanément dans le vide, tant que la chambre continue à *cracher*.

Quand elle se ralentit, il faut la remettre en mouvement, au

moyen de coups de mine pratiqués dans ceux des blocs qui paraissent arc-bouter la masse. On se protège avec quelques bois ; mais ce n'en est pas moins une opération qui peut être classée parmi les plus périlleuses. Du reste, il est préférable, pour peu que la chambre ait beaucoup donné, de la fermer et d'en pratiquer une autre sur un point différent. Il est arrivé, en effet, à Beaubrun, qu'en insistant trop sur certaines chambres, on les a fait percer au jour, en

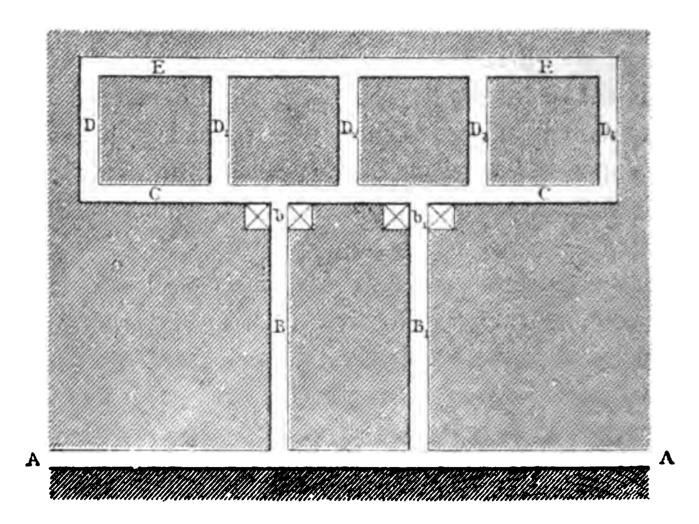


Fig. 287. Chambre d'éboulement (coupe horizontale).

déterminant des fontis, par lesquels des torrents de boue sont venus noyer des quartiers de la mine.

Cette circonstance n'est pas, du reste, en contradiction avec ce que nous avons dit de la limitation de l'éboulement en hauteur (n° 410), car la formule (1) suppose essentiellement que l'on ne retire rien des matériaux qui tombent dans le vide de la taille. Il faudrait donc, pour l'appliquer au cas actuel, supposer que h, c'est-à-dire le volume retiré, non plus à l'avance, mais successivement, vienne à croître indéfiniment. Dès lors, H augmentera lui-même au delà de toutes limites.

CHAPITRE XIX

MÉTHODES DE FOUDROYAGE

—

§ I

MÉTHODE DES MASSIFS COURTS

420 — *Traçage en direction et inclinaison.* — La méthode des massifs courts consiste à quadriller le quartier par un réseau de galeries rectangulaires, à mailles relativement serrées, et plus ou moins rapprochées de la forme carrée, c'est-à-dire, sauf la dimension, du type des piliers tournés et non des piliers longs (n° 385,386). On dépile ensuite en retraite, à partir de la périphérie.

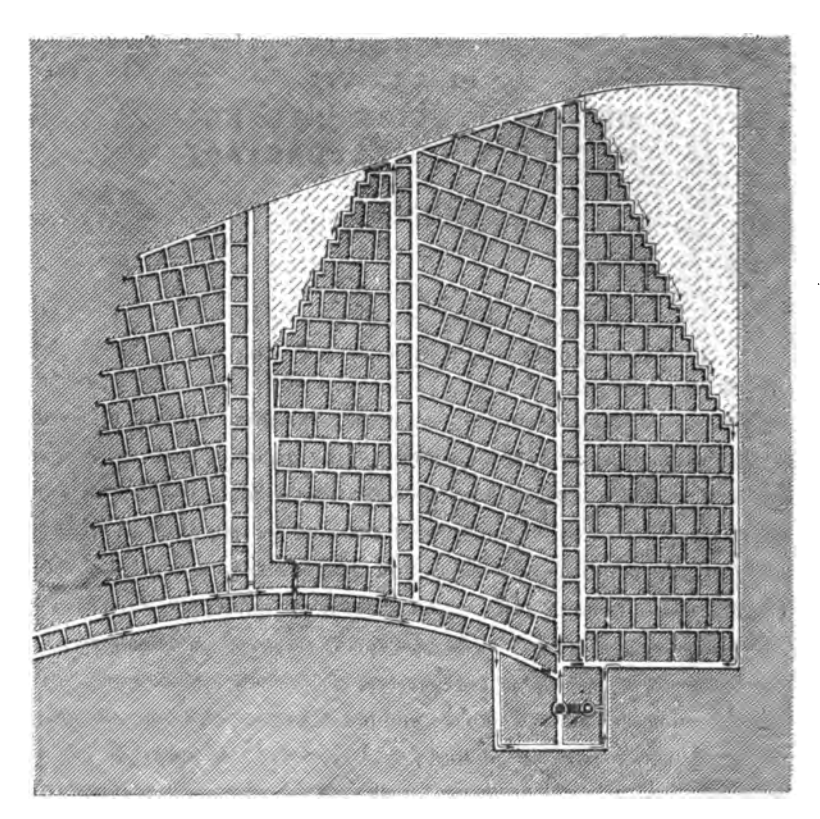
Nous distinguerons dans le traçage deux systèmes différents : 1° le mode *en direction et inclinaison*; 2° le mode *en demi-pente*.

Le mode en direction et inclinaison est incomparablement plus répandu que le second. Il porte, en Angleterre, le nom de *pillar and stall,* ou encore *board and pillar*. On le rencontre dans un grand nombre de gîtes de fer [1], avec des galeries de 5 à 6 mètres, et des piliers d'une vingtaine de mètres. Il s'applique aussi dans beaucoup de houillères, surtout en Angleterre, où il est devenu, pour certaines régions, tout à fait classique [2]. Les piliers y présen-

[1] Mazenay (Saône-et-Loire), Le Travers (Gard), etc.

[2] Par exemple, la plupart des houillères du bassin de Newcastle, sur lesquelles on trouvera beaucoup de renseignements dans l'intéressante relation du voyage de mission en Angleterre de MM. Pernolet et Aguillon pour la Commission du grisou, que nous avons souvent mise à contribution. Je citerai également les charbonnages de Ilovaiski, Pouliakow, dans le bassin du Donetz (Russie); la mine de lignites de Britannia, à Mariaschein (Bohême), etc.

tent 25 mètres sur les deux faces, qui sont susceptibles de grandir jusqu'aux dimensions de 120 mètres sur 60. On trace, soit directement l'étendue entière du champ d'exploitation (¹), soit plutôt des fractions, ou quartiers distincts, de ce champ, qui prennent le nom de *pannels* (fig. 288). Tantôt ces districts sont absolument con-



Fi . 288. Méthode des massifs courts. Couche Ell Coal (Allanshaw, Écosse) (coupe par le plan du gîte).

tigus (²) et ne constituent qu'un fractionnement de l'exploitation générale; tantôt ils sont séparés par des massifs isolants de 20 à 30 mètres (³), qui réalisent une protection de ces chantiers les uns

(¹) Comme à Blantyre (Écosse).
(²) A Ryhope, à Silksworth, à Haswell (Durham).
(³) A Murton, à Eppleton (Durham); Allanshaw (Écosse).

contre les autres, au point de vue des accidents. C'est spécialement à cette dernière disposition que nous réserverons, dans la suite, le nom de *panneaux*, pour désigner les divers districts d'un champ d'exploitation. Les bandes intermédiaires sont à leur tour tracées et dépilées, après l'entier déhouillement des panneaux interposés. La largeur des galeries varie, suivant le degré de solidité, de 2 mètres à 4 ou 5 mètres.

421 — Le dépilage se fait par enlevures contiguës, ou *juds*, disposées suivant l'inclinaison (fig. 289). Leur largeur en direction varie depuis quelques mètres jusqu'à 10 mètres. On détruit ainsi progressivement le pilier, de la même manière que le rabot dépèce le bois. Le travail se fait ordinairement en montant [1]. Mais on a soin, à cause du grisou, de laisser toujours ouverte, à côté de l'enlevure en voie de percement, celle qui lui est contiguë, et parfois même une seconde. Elles sont soutenues, chacune, par une ou plusieurs lignes de buttes, suivant leur longueur. On détermine l'éboulement de la plus ancienne enlevure, lorsqu'on vient de terminer la dernière, et que l'on va en

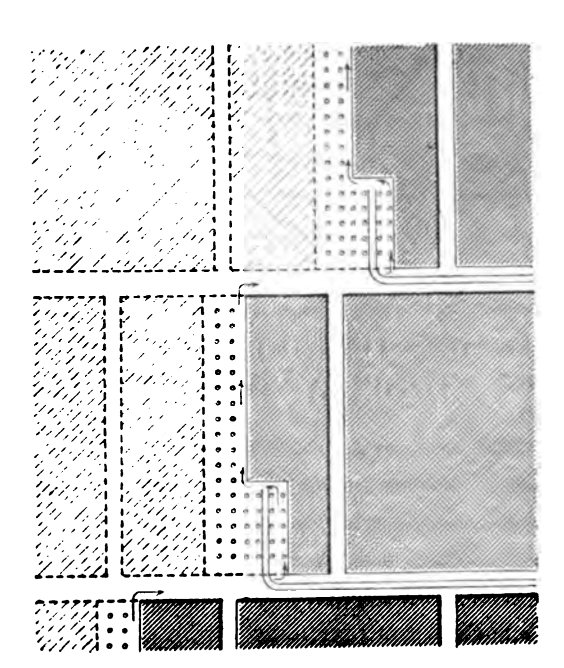


Fig. 289. dépilage des massifs courts (Ryhope, Durham) (coupe horizontale).

[1] Comme à Ryhope.

attaquer une nouvelle. Si l'ouvrage s'écroule prématurément, on sacrifie, pour se garantir des éboulis, une planche de charbon. On perce un montage à son revers, et l'on recommence une nouvelle série.

La figure 289 suppose que le plan incliné est à droite et la limite du quartier à gauche, de manière que l'amont-pendage recule, dans chaque sous-étage, avec une certaine avance sur l'aval.

Lorsque l'aérage par diffusion peut suffire, dans les mines non grisouteuses, la taille se monte en cul-de-sac, sur une faible relevée, et on laisse l'éboulement se produire sur toute la largeur du chantier, avant d'attaquer le suivant. Celui-ci reste protégé contre la coulée des pierres du premier, par une ligne de buttes, que l'on a soin de laisser contre le massif, au moment où l'on déboise, s'il est possible, l'enlevure précédente.

Quand le toit est mauvais, on diminue de moitié la longueur des enlevures [1] en prenant, comme il vient d'être expliqué, l'aval-pendage du pilier en montant, mais seulement jusqu'au milieu de la relevée, et attaquant en même temps la seconde moitié en descente, à partir de la costresse supérieure.

Dans certains cas [2], on procède au dépilage par enlevures chassantes, au lieu de les disposer suivant l'inclinaison.

422 — *Traçage en demi-pente.* — Ce mode, rarement employé, trouve sa raison d'être dans l'emploi du traînage au moyen de paniers à patins, si le gîte est trop redressé pour qu'il soit possible d'effectuer cette opération suivant la ligne de plus grande pente. On dispose dès lors les galeries de traînage en voies thiernes. Ce traçage comporte à son tour deux variantes distinctes, suivant qu'un seul des systèmes de voies est mis en diagonale, l'autre restant en direction; ou que tous les deux se trouvent à la fois en demi-pente.

Le premier dispositif se voit dans la couche des trois bancs, aux mines d'anthracite de La Mure (Isère) [3], dont la figure 290 représ-

[1] Comme à Allanshaw, à Haswell, à Murton.

[2] Charbonnage du Hasard (Liège).

[3] *Annales*, 3e, IX, 427; 4e, XV, 519; 7e, IV, 56; XVIII, 121. — *Bull. min.*, 1re, II, 616. On le rencontre également dans certaines parties grisouteuses des houillères de Bességes (Gard) (fig. 291).

sente la méthode d'exploitation. L'étage, de 25 mètres de relevée, est compris entre deux galeries-maîtresses. On le partage en sous-étages de la manière suivante.

On branche normalement, tous les 50 mètres, sur la voie de fond, une diagonale qui, après un crochet à angle droit, formant gare d'embarquement des panières dans les wagonnets, s'élève en biais jusqu'au sommet de l'étage. Puis on détache de cette diagonale des costresses qui dessinent les divers lopins.

Chaque sous-étage est dépilé par enlevures contiguës, disposées suivant l'inclinaison, en préservant le chantier contre les éboulis par une planche d'anthracite.

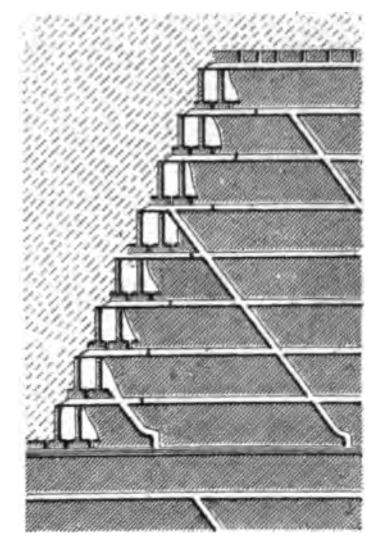


Fig. 290. Méthode en demi-pente. Couche des trois bancs (La Mure, Isère) (coupe par le plan du gîte).

423 — Dans la seconde variante [1], les côtés du lopin sont inclinés tous les deux à 45 degrés sur la ligne de plus grande pente (fig. 292). Sur la voie de fond A, qui caractérise l'étage, on branche, tous les 25 mètres, des remontées d'environ 4 mètres, B_1, B_2, B_3..., qui se détachent normalement, pour éviter les angles aigus, aux petites gares d'embarquement du traînage dans la galerie du roulage par chevaux, mais se recourbent de suite en demi-pente. A partir d'une distance de 5 mètres, on insère tous les 15 mètres, sur chaque remontée, des coupements C_1, C'_1, C''_1...; C_2, C'_2, C''_2..., inclinés en sens contraire. On procède ainsi jusqu'au sommet de l'étage, qui a de 100 à 180 mètres de relevée. Tel est le traçage, qui présente, à la vérité, l'incon-

[1] Employée dans les houillères de Rochesadoule (Gard); dans les parties non grisouteuses de Bessèges, sur des développements de plus de douze cents mètres à partir du débouché de la galerie au jour; et dans les mines de lignite de Calaf (Catalogne).

vénient de donner à l'air un certain parcours en *rabat-vent*, c'est-à-dire en descendant [1].

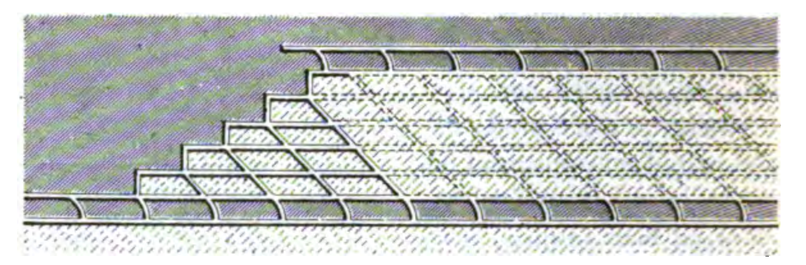


Fig. 291. Méthode en demi-pente (Bessèges) (coupe par le plan du gîte).

On donne, dans le dépilage, une certaine avance à la zone supérieure sur la seconde, à celle-ci sur la troisième, et ainsi de suite.

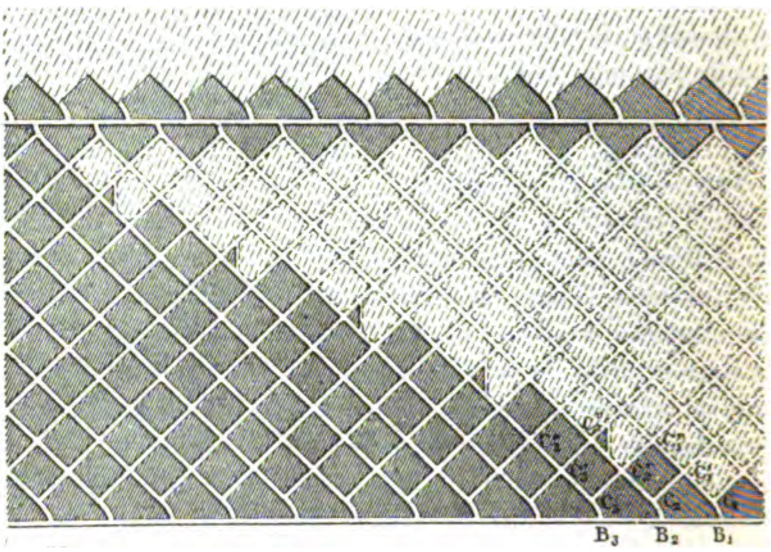


Fig. 292. Méthode en demi-pente (Bessèges) (coupe par le plan du gîte).

Quant à la plus basse, elle est réservée comme massif de protection

(1) Aussi réserve-t-on, à Bessèges, celui de la première variante pour les parties grisouteuses, comme le montre la figure 291, tandis que le dispositif de la figure 292 estusité dans les régions exemptes de gaz.

de la voie de fond, dont la conservation est nécessaire pour l'exploitation de l'étage inférieur; car elle formera alors le retour d'air, en intervertissant son rôle actuel dans la ventilation. On ne déhouille cette dernière zone de l'étage supérieur qu'en même temps que la première de l'étage inférieur, en détruisant de proche en proche la galerie qui les sépare.

Le dépilage de chaque lopin se fait par enlevures contiguës, que l'on dispose, suivant les cas, parallèlement aux coupements, ou suivant la ligne de plus grande pente.

§ 2

MÉTHODE DES MASSIFS LONGS

424. — *Traçage.* — Pour éviter les inconvénients des massifs courts, on se trouve conduit à leur substituer des piliers longs (n° 416). Ils peuvent être disposés de trois manières différentes : en direction (dans l'immense majorité des cas), en inclinaison ([1]), ou même en demi-pente ([2]). Leur configuration présente deux variantes distinctes, que nous appellerons le *traçage français* et le *traçage anglais*. Elles sont motivées par les différences générales qui séparent les formations houillères des deux pays (n° 376).

Le traçage français ([3]) s'emploie particulièrement si le toit est médiocre (fig. 293). La galerie qui sépare les massifs longs est alors très restreinte, et le pilier beaucoup plus large. De plus, on ne s'étend qu'à une distance modérée du plan incliné.

Le traçage anglais, ou *long work* ([4]), est suivi de préférence, quand le toit et le charbon sont solides (fig. 294). On donne alors à la galerie une largeur comparable à celle du pilier, dans le but de

([1]) Dans les parties les plus plates du bassin de Sarrebrück et à Königsgrube.
([2]) Laurahütte (Silésie); avec dépilage chassant.
([3]) Ahun (Creuse); la *première brûlante* de la Béraudière; Bruay (Pas-de-Calais); Roche-la-Molière (Loire), avec de beaux chantiers de 15 mètres de relevée, et 3 à 5 mètres de puissance, pris en une seule tranche; les districts de Zwickau (Saxe); Bochum (Westphalie); Orlau (Haute-Silésie); Szekul, Doman (Banat); Salgotayau.(Hongrie).
([4]) Oaks-Colliery (Yorkshire); Outwood, Pendlebury (Lancashire); etc.

faciliter l'abatage et d'augmenter le rendement du piqueur. Mais on laisse des massifs de protection le long du plan incliné, pour assurer sa conservation, et l'on ne les traverse que sur la largeur nécessaire au roulage et à la ventilation. Ces massifs ne disparaissent qu'avec le plan lui-même, au moment d'abandonner le quartier. Après leur évasement, les galeries présenteront, par exemple, une largeur de 5 mètres, pour des pleins de 10 mètres.

Quant à leur longueur, elle est arbitraire, et parfois poussée à d'incroyables exagérations, lorsque les circonstances sont favorables. On en rencontre en Angleterre qui atteignent 1600 mètres; mais, dans ce cas, le traçage se dénature complètement, et l'on voit la largeur du pilier atteindre de son côté des valeurs de 100, 200 et même 280 mètres, en plateure très peu inclinée. Dans ces conditions, le pilier prend une telle importance, qu'on peut le considérer à son tour comme un véritable panneau, dont le dépilage se fait à l'aide d'un soustraçage en massifs courts ([1]), suivi d'un déhouillement pratiqué d'après la description précédente (n° 421). Si, au contraire, on reste dans des dimensions moins excessives, le dépilage s'effectue directement, d'après divers modes que je vais énumérer.

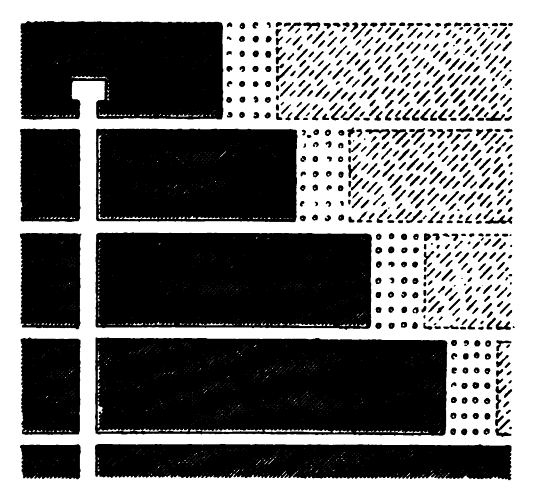


Fig. 293. Méthode des massifs longs (traçage français) oupe par le plan du gîte).

425 — *Dépilage en long.* — Le dépilage peut être conduit sui-

([1]) Par exemple à Pemberton.

vant deux modes fondamentaux : ***en long*** ou ***en travers***, c'est-à-dire en chassant ou en montant.

Dans le premier mode (fig. 294), on crève le pilier au milieu de sa longueur, par un court montage qui le traverse de part en part; puis on prend les deux parois de cet ouvrage comme fronts de taille de deux chantiers, qui s'éloignent l'un de l'autre, en battant en retraite vers les deux plans inclinés, situés aux extrémités du

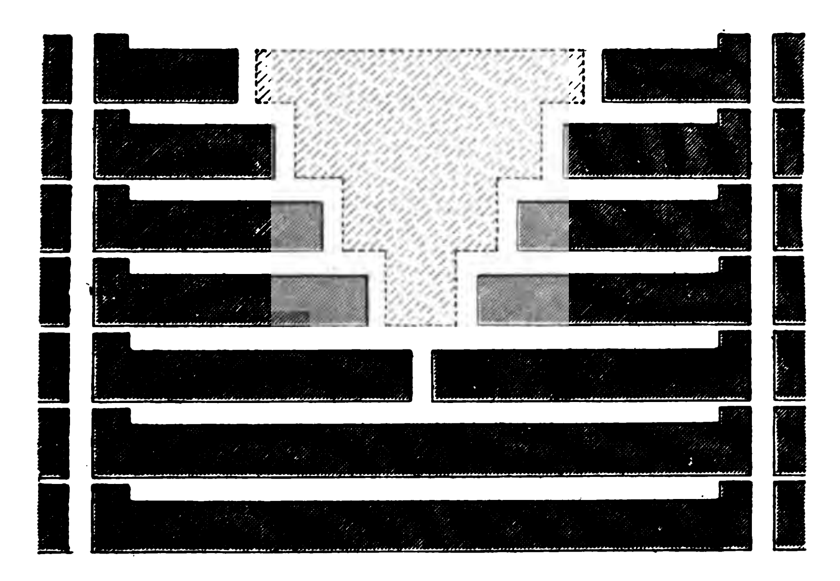


Fig. 294. Méthode des massifs longs (traçage anglais) (coupe par le plan du gîte).

massif. Suivant la règle générale, les chantiers supérieurs cheminent en avance sur ceux de l'aval-pendage.

Ce mode fondamental se subdivise à son tour en trois variantes distinctes, d'après le degré d'inclinaison du gîte.

Dans les plateures, le front de taille est droit, suivant la ligne de plus grande pente (fig. 293).

Quand le pendage s'accentue, en gênant le mineur par la coulée des éboulis du massif supérieur qu'il a sur son flanc, celui-ci se protège contre eux à l'aide d'une *planche* de charbon (fig. 295), que l'on arrache ensuite comme l'on peut, à quelque dis-

tance en arrière de l'avancement, sauf à en perdre une partie ([1]).

Dans les régions encore plus raides, on dispose le front de taille en gradins couchés ou *maintenages* (fig. 296), de manière que chaque piqueur travaille en avant de celui qui est au-dessus de lui, et que le charbon abattu par ce dernier coule par derrière sans le blesser. Quant au dernier décrochement, il joue le rôle de planche protectrice, comme dans le cas précédent ([2]).

426 — *Dépilage en travers direct.* — Le second mode fondamental est le dépilage montant. Il procède par enlevures contiguës disposées suivant la ligne de plus grande pente. Après avoir, comme dans le mode précédent, crevé le pilier long en son milieu par un montage, au lieu d'en prendre les deux flancs comme fronts de tailles chassantes, on recommence à pratiquer consécutivement des chantiers adjacents les uns aux autres, ainsi qu'il a été expliqué (n° 421) pour les massifs courts (fig. 289).

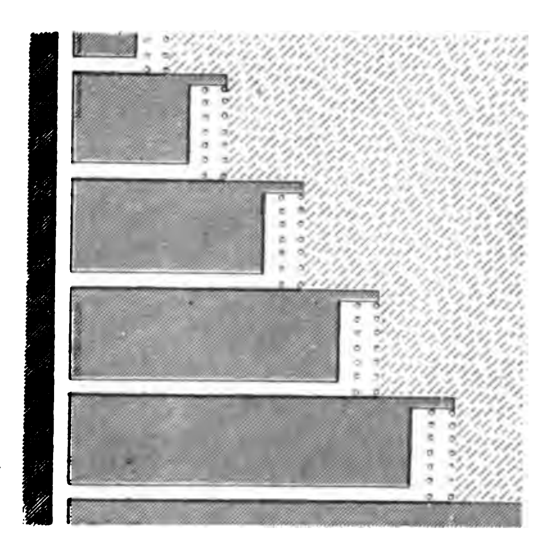


Fig. 295. Méthode des massifs longs. Dépilage avec planche protectrice (coupe par le plan du gîte).

De même que le précédent, ce mode fondamental peut être pratiqué suivant plusieurs variantes distinctes.

Dans la première, qui est la plus simple, le travail se fait toujours dans le même sens, et c'est quand une enlevure est terminée que l'on en attaque une autre. Les tailles, parfois ré-

([1]) Lavaveix-les-Mines (Ahun, Creuse), Dudweiler (Westphalie), Fünfkirchen (Hongrie).
([2]) Houillères de Szekul.

duites à 2 mètres, en raison du défaut de solidité, peuvent, dans

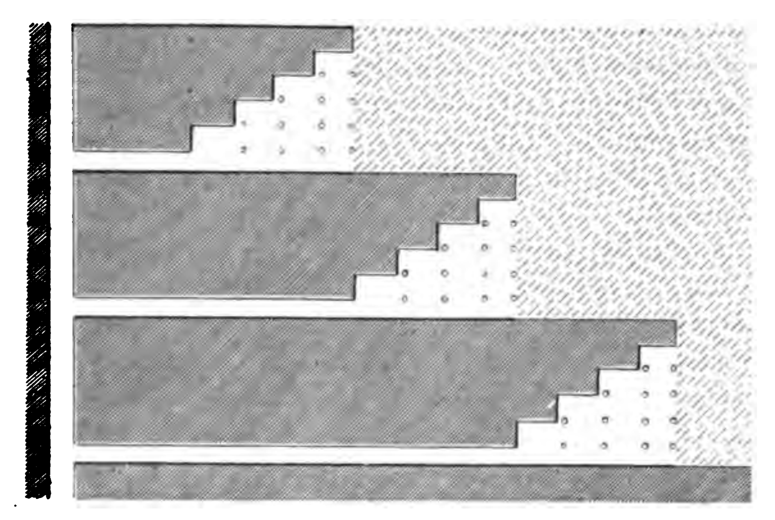


Fig. 296. Méthode des massifs longs. Dépilage en gradins couchés (coupe par le plan du gîte).

le cas contraire, atteindre près de 20 mètres de largeur (¹).

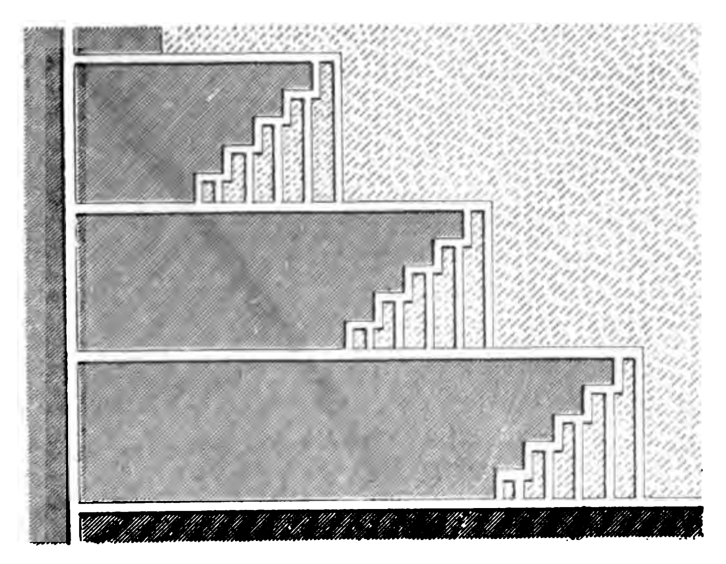


Fig. 297. Méthode des massifs longs. Dépilage montant en gradins (coupe par le plan du gîte).

(¹) Mines de fer de Mondalazac, du Cleveland. Houillères de Decize (Nièvre), Graissessac

Pour imprimer au chantier plus d'activité, en lui donnant un front de taille beaucoup plus étendu, et, en même temps, lui conserver une solidité suffisante, on met en train, à la fois, un certain nombre d'enlevures. Elles se trouvent à des degrés d'avancement différents, et le front de taille général dessine un diagramme en *décrochements* (fig. 297). Ce dispositif ne doit pas être confondu avec celui de la figure 296, malgré l'analogie que présentent ces deux profils; puisque, pour l'un, les fronts de taille sont en inclinaison et l'avancement chassant, tandis que dans le cas actuel les fronts de taille se trouvent en direction et progressent en montant. Si le plongement est important, on est obligé de munir de plans inclinés les voies de roulage ménagées à travers l'éboulement (¹).

Lorsque la relevée est importante, on peut abréger la traversée d'une enlevure ordinaire en l'attaquant à la fois par les deux extrémités, au moyen de tailles montante et descendante, qui en prennent chacune la moitié; procédé analogue à celui que nous avons déjà rencontré pour les massifs courts (nº 421) (²).

427 — *Dépilage direct et rétrograde.* — Le principe du dépilage dans les deux sens est encore appliqué d'une manière différente qui présente plus de sécurité que les types précédents. Au lieu d'attaquer la nouvelle enlevure au contact de la précédente, on l'ouvre quelques mètres plus loin, en laissant entre les deux une *jambe* de charbon suivant la ligne de plus grande pente (fig. 298). Le piqueur se trouve ainsi, pendant cette phase de l'opération, séparé des éboulis par un rempart solide ; et le faîte est soutenu des deux côtés de la taille. Une fois parvenu à la limite supérieure, on tourne à angle droit, et l'on perce en direction, jusqu'aux éboulis, la jambe de charbon. Dès lors, tournant de nouveau à angle droit dans le sens du plongement, on dépile ce rempart en descendant et se laissant suivre par l'écrasée. Même alors, le mineur

(Hérault), la Grand'Combe à la couche mince du Ravin (Gard), Lucy (Saône-et-Loire), Roche-la-Molière, Ronchamp; Lund-hill (Yorkshire); Outwood, Bickershaw, Rosebridge, Westleigh (Lancashire); Kœnigsgrube, Karwin, Wilhelmschacht (Silésie); Burgk, Bruckenberg (Saxe); Inaszo (Hongrie).

(¹) Ce système est appliqué dans Ramsmine à Pendlebury.

(²) Ce type se rencontre dans la couche Hutton à Eppleton.

trouve dans cet artifice un supplément de sécurité, puisqu'il reste

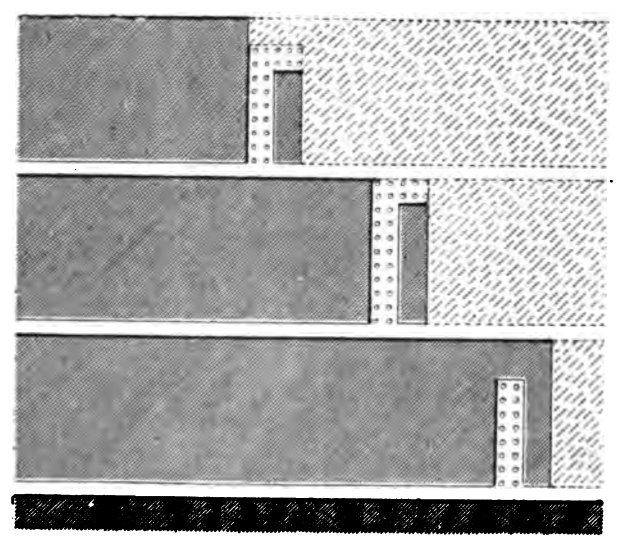


Fig. 298 Méthode des massifs longs. Dépilage simple montant et descendant (coupe par le plan du gite).

toujours à une distance insignifiante d'une voie de retraite assu-

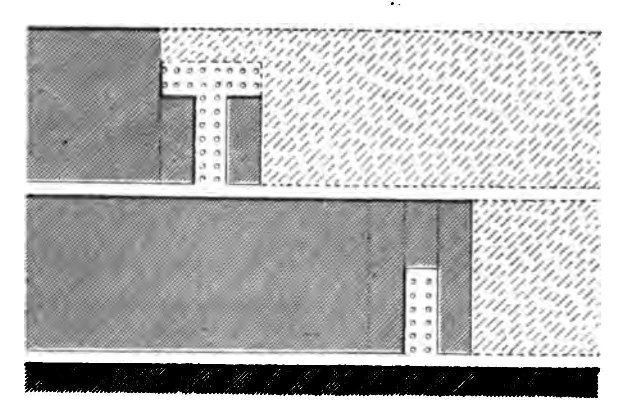


Fig. 299. Méthode des massifs longs. Dépilage double montant et descendant (coupe par le plan du gîte).

rée, à savoir le montage, jusqu'à la galerie-costresse ([1]).

([1]) Ce système a été appliqué dans l'étage supérieur de Lens; au puits Chatelus de Beaubrun; à Kladno (Bohême); à Kœnigsgrube, sur 8 mètres de puissance, avec une taille de 5 mètres, et une jambe de 3 mètres, dont on abandonnait souvent l'extrémité.

Si la puissance devient considérable, on exécute en montant le percement sur une hauteur modérée : 2 à 3 mètres, en laissant le reste du charbon en couronne. On l'abat ensuite, dans la phase descendante, sur toute son épaisseur, et en gradins renversés, suivant le type représenté par les figures 125 et 126 ([1]).

Dans beaucoup de mines anglaises, principalement dans le South-

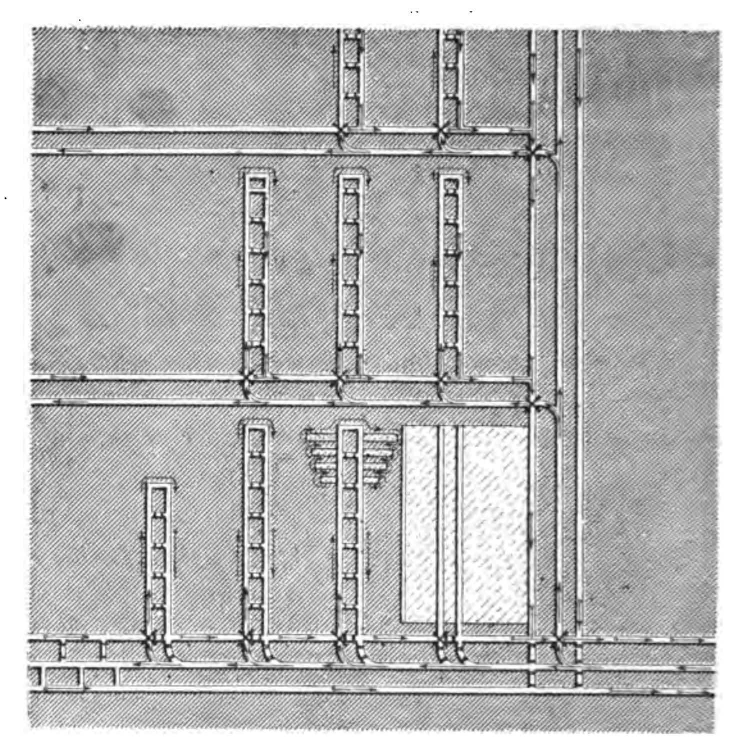


Fig. 300. Méthode des massifs longs. *Pillar with double stall* (Celynen, South-Wales) (coupe par le plan du gîte).

Wales, on applique ce système avec de telles largeurs, que le plafond de l'ouvrage direct s'écroule avant qu'on en soit au dépilage en retour. On ménage d'après cela, pour la circulation, des voies

([1]) Cette observation est faite ici une fois pour toutes, car cette pratique se rencontre dans beaucoup de méthodes, qui emploient des chantiers pris en avançant et rétrogradant successivement.

dans le goaf (¹). Suivant le nombre de ces galeries par taille, l'appareil porte le nom de ***pillar and stall with single stall*** ou ***pillar and stall with double stall.***

428 — On a même appliqué le principe d'aller et retour, en rendant l'ouvrage symétrique, et déhouillant en descendant, non seulement la jambe protectrice, mais une épaisseur égale prise de l'autre côté du montage (fig. 299). Ce procédé est connu dans le Yorkshire sous le nom de ***Bank-system*** (²).

La figure 300 représente l'application de ce type d'exploitation dans la couche Black-vein à Celynen (South-Wales) (³). Le grand traçage est conduit en voies triples. Un sous-traçage est pratiqué par des voies doubles montantes dans le pilier long, de 100 à 150 mètres de largeur sur 250 à 300 de longueur. Pour chacune d'elles. on dépile de chaque côté la moitié de l'entre-deux qui la sépare de la voisine. Ce dépilage se fait par des ouvrages du Bank-system, ouverts en direction, différence peu importante, en raison de la très faible inclinaison de la couche. On les conduit à fond en y réservant le ***double stall***, et l'on revient vers le montage, en dépilant sur les deux ailes la moitié de la jambe qui sépare des chantiers voisins.

§ 3

MÉTHODE DU LONGWALL

429 — *Longwall working outwards.* — Ce qui distingue essentiellement le *longwall* des méthodes de massifs courts ou massifs longs, est un caractère d'unité très marqué, imprimé au déhouillement du champ d'exploitation, dans lequel cet ouvrage s'étend indéfiniment de proche en proche. En outre, le traçage s'y trouve de plus en plus réduit, et disparaît même absolument dans l'un de ses

(¹) D'après l'une des dérogations signalées plus haut (414, note 1).

(²) Couche Barnsley à Thryberg-Hall.

(³) Puissance $2^m,74$, inclinaison 0,03. Ces détails d'exploitation et beaucoup d'autres, ainsi que j'en ai déjà averti (nº 420, note 2), sont empruntés à l'important rapport de mission de MM. Pernolet et Aguillon (Angleterre. p. 164).

types, qui, à l'inverse des *méthodes de traçage et dépilage*, nous présente une *méthode sans traçage*.

Cet appareil comporte deux modes distincts : le *longwall working outwards* et le *longwall working home*.

Pour établir un *longwall working outwards* (fig. 301), on pratique, à partir du puits, une artère fondamentale comme base d'opérations, à l'aide de deux galeries jumelles, que l'on dispose, en général, suivant la direction. On y branche des tailles montantes d'un large front. Les plus rapprochées du puits étant les premières ouvertes.

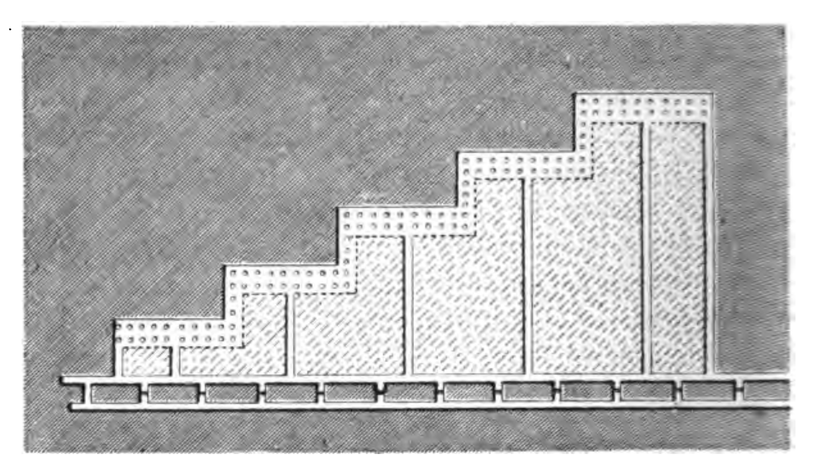


Fig. 301. *Longwall working outwards* (coupe par le plan du gîte).

seront les plus anciennes; les plus avancées par conséquent. Les autres progressent de conserve, avec des longueurs graduées, dont l'ensemble dessine un diagramme en décrochements. Chaque taille est reliée à la voie de fond par une galerie, ou un plan incliné, suivant que le pendage est plus ou moins prononcé. Elles communiquent en outre latéralement les unes avec les autres pour le passage de l'air.

On voit que ce système, comme nous l'avions annoncé, constitue bien une méthode sans traçage, car l'ouverture d'une base d'opérations ne saurait être rangée sous ce titre, et forme une partie indispensable de toute méthode d'exploitation (1).

(1) Ce mode de déhouillement, qui a pris naissance dans le Midland, est très usité dans le

Si, comme c'est l'ordinaire en Angleterre, la couche est bien réglée, il est inutile que les galeries jumelles précèdent les tailles de plus d'une vingtaine de mètres. Si, au contraire, il est à propos d'éclairer la marche, pour que le développement de l'ouvrage ne soit pas subitement arrêté par un dérangement du gîte, on pousse cette artère en reconnaissance, à une distance qui peut atteindre 100 et même 200 mètres.

Cette base peut aussi se mettre suivant l'inclinaison, lorsque le pendage est peu prononcé. On la dirige également en demi-pente,

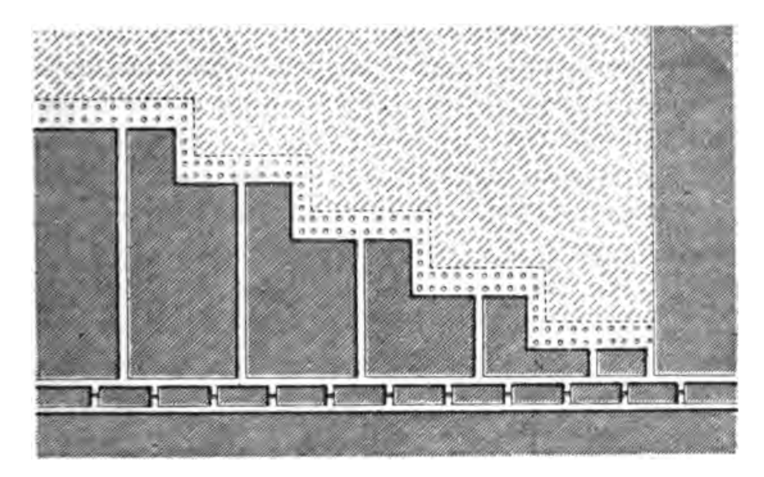


Fig. 302. *Longwall working home* (coupe par le plan du gîte).

si l'on juge à propos de profiter d'une feuille prononcée du combustible, pour en faciliter l'abatage.

On applique la méthode du longwall sur une échelle parfois gigantesque. Dans le Yorkshire, le développement des fronts de taille atteint un kilomètre, dans le Lancashire : 2400 mètres, dans le Nottinghamshire : 4800 mètres. Quant à l'étendue du front élémentaire formant décrochement, elle varie, suivant la solidité, entre 5 mètres et 30 mètres.

Yorkshire, le Nottinghamshire et le pays de Galles. On le rencontre à Blantyre, Hoyland, Hundley-field, Park-lane, Rockingham, Wain-elwyd. Il s'applique également dans les black-bands, ou gîtes de fer carbonaté du South-Wales. En France, on y peut rattacher le mode d'exploitation de la houillère de Comberedonde (Gard).

430 — *Longwall working home.* — Le côté faible du mode précédent consiste dans l'obligation de conserver dans le goaf les communications, contrairement à la règle théorique (n° 414). Dans le *longwall working home*, on reprend l'application de cette règle, en se portant aux limites du champ d'exploitation par un traçage, à la vérité réduit à sa plus simple expression, et qui servira à conserver les communications dans le ferme, pendant que l'on dépile en reculant. A cet effet (fig. 302), l'on pousse encore, à partir du puits, l'artère essentielle, et l'on y branche des galeries perpendiculaires, qui se portent à la limite, d'où l'on revient en dépilage. Celui-ci commencera donc par les galeries les plus voisines du puits, qui parviendront les premières à l'extrémité de leur développement, et qui seront ensuite, à chaque instant, les plus raccourcies par les progrès de ce déhouillement [1].

Ce mode est moins employé que le premier, attendu que la durée du traçage retarde le moment de la pleine activité de la production.

§ 4

MÉTHODE INCLINÉE

431 — *Propriétés de la méthode.* — Les procédés précédents constituent les méthodes en une seule tranche, et supposent dès lors une puissance limitée. En général, cette épaisseur devra être comprise entre $1^m,50$ et 3 mètres. Au-dessous, on est obligé d'entailler le toit ou le mur pour établir les galeries, et ces matériaux peuvent servir à constituer au moins un remblai incomplet. Au-dessus, on se trouverait conduit à employer des bois d'une longueur exceptionnelle. Cependant on atteint assez facilement 5 mètres [2]. On a même poussé cette limite à 10 mètres et jusqu'à 15 mètres. Mais la plupart des exemples que l'on

[1] On rencontre ce système d'exploitation principalement dans le Lancashire, où il est connu sous le nom de *méthode de Manchester;* par exemple dans la couche five-quarters à Clifton-hall.

[2] A Roche-la-Molière, en Silésie, en Saxe.

pourrait citer d'une telle exagération ont aujourd'hui disparu (¹).

Plutôt que de se lancer dans ces excès, il est préférable de scinder le gîte en tranches d'une hauteur convenable, dont chacune sera prise par les systèmes précédents, sans que nous ayons à revenir sur cette partie de la description. Nous avons vu de plus, qu'au-dessus d'une même projection horizontale, ces tranches seront prises forcément dans l'ordre descendant.

432 — La méthode inclinée se présente rationnellement la première, comme nous rapprochant davantage des conditions normales des gîtes minces. En effet, elle nous offre des tranches indéfinies dans tous les sens, comme les couches ordinaires ; tandis que les tranches horizontales ne nous donneront que des bandes, illimitées suivant la direction, mais restreintes à la *traversée* du gisement, dans le sens perpendiculaire.

La méthode inclinée se recommande en particulier pour les couches *barrées*, c'est-à-dire pour celles dans lesquelles la masse principale est subdivisée en plusieurs bancs partiels, par des lits stériles intercalés. La division du travail d'après cette stratification, simplifie alors notablement la séparation des deux genres de matières, que la méthode horizontale abattrait pêle-mêle dans le chantier. De plus, ces *nerfs* prennent parfois assez d'importance pour former des entre-deux que l'on peut respecter, de manière qu'ils constituent le mur d'une tranche d'exploitation et le toit de l'autre.

La méthode inclinée par foudroyage trouve sa place, même dans l'exploitation par remblayage des gîtes puissants. Il peut arriver, en effet, qu'après être monté de tranche en tranche sur le remblai jusqu'à la dernière, on juge à propos, pour celle-ci en particulier, de faire l'économie du remblayage, en laissant tomber le toit ; puisque, à l'inverse de ce qui avait lieu pour les tranches précédentes, on n'a plus rien à ménager au-dessus de celle-ci.

Cette méthode est, par sa nature, restreinte à des pendages modérés. Pour les parties raides, la méthode horizontale seule pourrait

(¹) A Kladno, on atteignait 10 à 12 mètres ; à Lucy, 12 mètres ; les mines de Blanzy ont eu autrefois, à Cinq-Sous, des chantiers de 12 à 15 mètres de hauteur. (Tournaire, *Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 208. — Mallard et Lechatelier, *Annales*, 8ᵉ, I, 20.)

convenir. En effet, avec un plongement trop prononcé, on se trouverait exposé au danger du glissement des éboulis sur ces déclivités. En outre, au moment de l'abatage, le charbon lui-même roulerait sur la pente, en se détériorant, et exposant les piqueurs à des accidents graves.

433 — Il importe de signaler une propriété géométrique fort simple, mais très utile, de cette méthode. C'est qu'une droite horizontale quelconque, autre que la direction du gîte, rencontre toutes les tranches, tandis qu'avec la méthode horizontale, elle se trouve entièrement confinée dans une tranche, sans pouvoir atteindre les autres.

D'après cela, l'on passera facilement d'une tranche dans l'autre par de simples déviations des galeries d'allongement, ou par de courtes traverses, en conservant l'horizontalité pour toutes ces voies de communication. Il suit de là d'assez grandes facilités pour utiliser, en vue de l'exploitation de plusieurs tranches, et, au besoin, de toutes, les éléments principaux d'un traçage, établi d'une manière durable dans la tranche du mur qui disparaît la dernière, au lieu de tout recommencer de fond en comble, quand on passe d'une tranche à l'autre.

Remarquons même que, si des motifs quelconques portent à construire au toit les ouvrages permanents, par exemple pour se procurer un bon plafond, ou pour ne pas fatiguer pendant l'exploitation de toute la puissance la couronne qui les surmonte, on le pourra avec la même facilité que dans le cas précédent. On communiquera alors horizontalement de la tranche du toit avec toutes les autres, et l'on en sera quitte pour réserver dans chacune d'elles l'investison qui se trouve subordonné à ces ouvrages, en ne le dépeçant qu'au dernier moment, lorsque l'on achève le déhouillement de la tranche du mur.

434 — *Aménagement.* — Quant à l'aménagement général de l'étage dans la méthode inclinée, il est très simple à concevoir (fig. 303).

Cet étage est défini par les plans horizontaux de deux travers-

bancs qui, partant des envoyages correspondants dans le puits, abordent le gîte par le mur, pour ne pas être disloqués par le foudroyage du toit. On les prolonge jusqu'à la sole de la tranche du toit. A ce point, de même qu'à la sole des tranches subordonnées, l'on percera, au moment de l'aménagement successif de ces tranches, des voies de fond en direction, jusqu'à la limite du champ d'exploitation.

De distance en distance, pour diviser ce dernier en quartiers, on

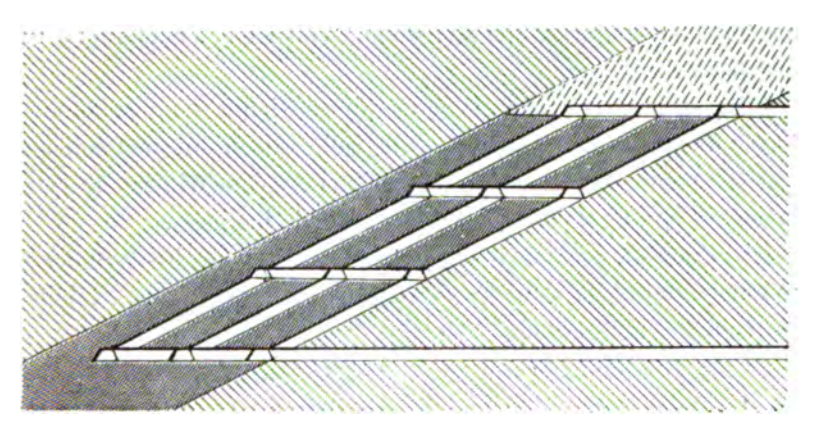


Fig. 305. Méthode inclinée (coupe verticale en travers).

branchera sur ces costresses des plans inclinés, gravissant toute la hauteur de l'étage. Enfin, l'on reliera à ces plans, à divers niveaux, d'autres voies d'allongement dessinant les sous-étages.

C'est dans ce traçage, pratiqué successivement, que s'encadreront, pour chaque tranche, les procédés d'exploitation qui ont été décrits dans les paragraphes précédents (¹).

(¹) Cette méthode a été appliquée de bonne heure aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire) et, pour cette raison, elle est encore appelée *méthode de Blanzy.* A Rochebelle (Alais), on divise le gîte en deux tranches inclinées, à cause de sa grande friabilité, qui empêche de prendre d'un seul coup toute la puissance dans les renflements. A Brückenberg, on commence à prendre en deux tranches une couche de 4 mètres. A Zwickau, on exploite en deux tranches un gîte de 10 mètres. A Dombrowa (Pologne), dont la couche atteint parfois 14 mètres de puissance, on exploite par massifs longs et dépilage chassant, en deux tranches de 4 à 8 mètres d'épaisseur (Jakowski, *Bull. min.*, 2ᵉ, V, 353). On rencontre encore cette méthode à la mine Innerberger (Seegraben, Styrie), et dans les lignites de Bohême, à Falkenau et à Dux.

§ 5

MÉTHODE HORIZONTALE

435 — *Propriétés de la méthode.* — La méthode horizontale a l'avantage d'être indépendante de l'inclinaison et de la puissance du gîte, ainsi que de la consistance du toit. Quant à la solidité de la masse elle-même, elle n'en dépend qu'au même degré que celle des tranches inclinées. Elle peut donc, en principe, s'appliquer à un gisement quelconque.

Elle est, pour ce motif, la seule qui convienne à un amas sans forme déterminée, réclamant, pour cette raison, une méthode qui soit elle-même indépendante des éléments géométriques de cette forme, ce qui n'est pas le cas de la méthode inclinée.

Il y aura lieu, également, de prendre par tranches horizontales le sommet d'une selle, dont les deux pendages opposés sont exploités par tranches inclinées (fig. 304).

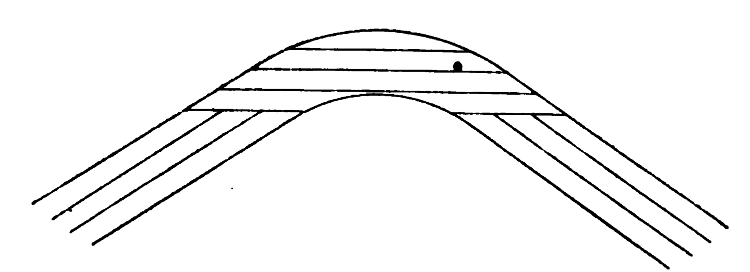


Fig. 304. Exploitation d'une selle (coupe verticale en travers).

La méthode horizontale présente cette particularité géométrique qui lui est propre, que, des lignes quelconques tracées dans la tranche étant horizontales, les chevaux peuvent aller partout, dans le réseau des voies de communication que l'on y établit, ce qui n'a pas lieu dans la méthode inclinée avec laquelle ils ne peuvent circuler que suivant la direction.

Le phénomène de l'écrasée ne se complique plus alors de mouvements de glissement, comme avec les tranches parallèles à la

stratification, et les éboulis restent sur le point même où ils s'abattent. Les effondrements accidentels et imprévus ont aussi moins de gravité qu'avec les tranches inclinées.

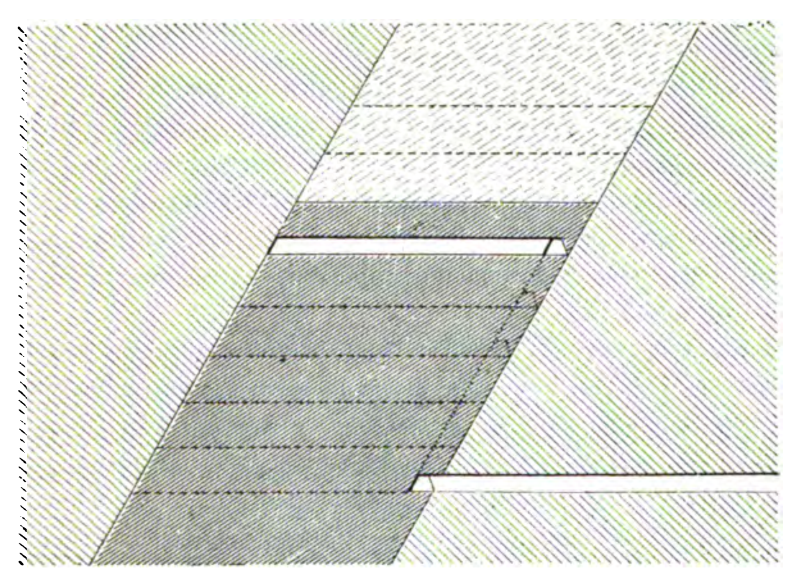


Fig. 305. Méthode horizontale (coupe verticale en travers).

436 — *Aménagement.* — Pour l'aménagement d'un étage (fig. 305, 306), on commencera par en rejoindre le pied à l'aide

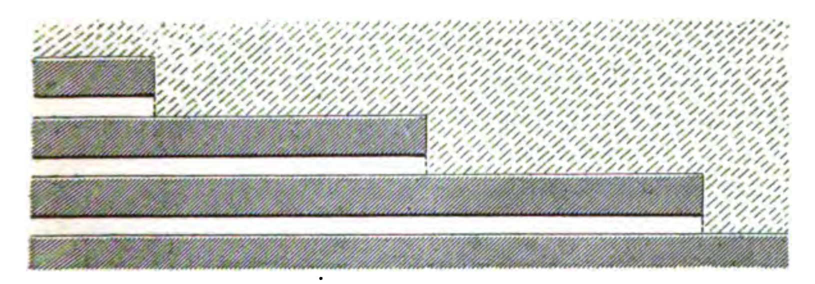


Fig. 306. Méthode horizontale (coupe verticale en long).

d'un travers-bancs, qui peut indifféremment se trouver dans le toit ou dans le mur. On pratique dans le gîte une mère-galerie,

jusqu'à la limite du champ d'exploitation. On y branche autant de plans inclinés que l'on voudra constituer de quartiers, en les poussant jusqu'au sommet de l'étage. Ces plans iront par la suite en se raccourcissant, au fur et à mesure que, les tranches étant enlevées à partir de la partie supérieure, se rapprocheront elles-mêmes de la tranche *d'à-rase*.

Pour déhouiller chaque tranche dans un de ses quartiers, caractérisé par son plan incliné, on ouvrira une voie de roulage en direction dans toute sa longueur, à partir de ce plan incliné. Si la puissance est faible, on pratiquera une traverse, et l'on reviendra en direction, à partir de l'extrémité, en abattant sur toute la largeur, et traitant cette tranche comme un simple massif long avec dépilage chassant (n° 425).

Lorsque la puissance est plus notable, on prend la tranche par enlevures successives, suivant les divers modes de dépilage en travers, qui ont été décrits pour un massif long (n°s 426, 427, 428).

Si, enfin, la traversée de la couche devient très importante, on se rapprochera des conditions d'un panneau ordinaire en plateure, en lui appliquant l'une des méthodes de traçage et dépilage décrites au commencement de ce chapitre [1].

[1] La méthode horizontale par foudroyage a été employée dans les lignites de Bohême, à Obergeorgenthal et à Tschausch, dans ceux de la mine Drasche (Seegraben), et de Köflach (près Gratz); pour les schistes alumineux du pays de Liège, les minerais de fer de Stahlberg (pays de Siegen), et les amas de calamine de la Haute-Silésie.

CHAPITRE XX

GÉNERALITÉS SUR LE REMBLAYAGE

—

§ 1

NATURE DU REMBLAI

437 —*Nature minéralogique du remblai.* — La nature du remblai influera évidemment au plus haut degré, sur les éléments techniques et économiques des méthodes fondées sur le troisième principe fondamental de l'exploitation souterraine : celui du remblayage. Si le choix était arbitraire, il serait facile de formuler une définition du type qui mérite la préférence. Mais, dans la réalité, l'on se trouve presque toujours étroitement circonscrit à cet égard par les nécessités locales.

Les matières argileuses fournissent un bon remblayage, qui *fait prise* et permet de *passer sous le remblai.* Elles procurent un excellent corroi contre l'eau, les feux, la fumée, la déperdition du courant d'air. Mais elles *tassent* beaucoup, et se laissent pénétrer par les bois, quand la charge donne. Il faut avoir soin de ne pas les introduire humides, ou gelées, car elles dégèlent dans les travaux, et y forment une boue sans aucun talus naturel.

Les pierres, les galets de rivière, la gangue des filons, constituent un type diamétralement opposé. Ce remblai est très solide et se tasse peu. Mais il ne fait pas prise ; n'arrête ni l'eau, ni l'incendie, ni la fumée, et laisse perdre le courant d'air.

Le sable et le gravier, le laitier et les scories, réunissent les inconvénients précédents, sans les compenser par les mêmes avantages. Ils ne font pas prise, se tassent encore et laissent tamiser les fluides.

Les résidus de la préparation mécanique des minerais se tassent bien également, et forment un bon pisé.

Les schistes bitumineux ou pyriteux, en un mot ceux qui sont susceptibles de fermenter, de s'échauffer et de s'enflammer, doivent être proscrits d'une manière absolue. Loin de songer à en introduire du dehors, on doit les sortir avec le même soin que la matière utile. Ils brûlent alors sur les haldes, en donnant, pendant la nuit, le spectacle d'incendies très pittoresques. On peut ensuite, après ce grillage, les rentrer sans inconvénient; et l'on y trouve cet avantage de se procurer ces remblais sans nouveaux frais spéciaux, tout en limitant l'extension des haldes.

En vue du même danger, et en raison du renchérissement du combustible, on a vu disparaître en France l'antique habitude de remblayer avec du charbon menu, lequel était souvent invendable avant la création de l'industrie des agglomérés. Les nouveaux perfectionnements des foyers, qui permettent, dans beaucoup de cas, la combustion directe de ces menus, ne peut que confirmer dans cette voie. Cependant on rencontre, encore aujourd'hui, des exemples de cette pratique dans le sud du pays de Galles ([1]), où l'on abandonne environ 15 °/₀ du gîte, sous la forme de menus remblayés.

Il faut ajouter à la liste des matériaux employés pour combler le vide des travaux souterrains, la maçonnerie proprement dite. Ce dernier remblai est parfait comme solidité, étanchéité, prise, et absence de tassement. Mais son prix de revient le rend inabordable, en dehors de circonstances exceptionnelles ([2]).

438 — *Sources de remblai.* — Les sources susceptibles de fournir ces diverses substances sont elles-mêmes très variées.

La plus simple est l'existence du stérile à pied d'œuvre. On le trouve ainsi dans la gangue des filons, quand la partie utile n'y est

([1]) *PA*, Angl., 164. — Lecornu, *Annales*, 7ᵉ, XIV, 340.

([2]) On l'emploie sur quelques points spéciaux des mines de lignite de la Bohême, sous forme de piliers destinés à soutenir des vides immenses, qui ont atteint jusqu'à 66 mètres de longueur sur 6 de largeur et 8 de hauteur. L'emploi de la maçonnerie forme également la base essentielle de la méthode d'exploitation d'Almaden (nᵒ 504), parfaitement justifiée, dans ce cas particulier, par l'énorme valeur du minerai.

pas finement disséminée ; dans les nerfs intercalés entre les lits de la houille, et trop peu importants pour être respectés à l'état d'entre-deux ; dans les *faux toits* et *faux murs*, épontes sans solidité, que l'on est obligé de supprimer dans l'enlèvement du minerai, pour aller chercher un meilleur plafond ou une sole plus satisfaisante.

On peut encore rencontrer le stérile, à peu près sur place, quoique au prix d'un faible transport ; par exemple dans l'entaillement du toit ou du mur, nécessaire pour établir, dans les gîtes trop minces, les voies de communication ; dans le percement des travers-bancs, et autres travaux au rocher. Des frais de roulage et d'extraction seraient, dans tous les cas, nécessaires pour sortir ces matières, si on ne les employait pas à l'intérieur. Cette utilisation, et la dépense qu'elle économise, viendront donc en déduction des frais de percement des voies en question.

Les résidus de la préparation mécanique des minerais fournis par l'exploitation, ou des usines métallurgiques qui s'y rattachent directement, à proximité du carreau de la mine, donnent lieu à une appréciation analogue. Des frais de transport seraient toujours nécessaires pour les éliminer des ateliers. En outre, la formation des haldes est une question d'une certaine gravité. On est obligé de leur affecter des terrains, quelquefois coûteux, presque toujours considérables, quand on ne trouve pas, dans le lit d'un torrent, un véhicule naturel pour les entraîner au loin. Bien des fois, des chantiers ou des usines ont dû être transportés sur d'autres points, en raison de l'encombrement. L'emploi de ces matériaux pour le remblayage intérieur présentera donc, à ce point de vue, une double utilité.

439 — A côté de ces matières, fournies occasionnellement par l'exploitation elle-même, se placent celles que l'on exploite tout exprès pour fournir au remblayage.

En premier lieu, nous devons citer les matériaux fournis par l'intérieur : on s'en procure, quoique rarement à la vérité, au moyen de chambres d'éboulement pratiquées dans le toit (n° 418), ou dans le remplissage de certaines failles, formé de matières chaotiques

tombées de la partie supérieure, et restées depuis sans consistance.

Viennent ensuite les matériaux de l'extérieur, fournis par le découvert que l'on pratique sur l'affleurement ([1]). Il est certain que les frais d'abatage de ces terrains de recouvrement doivent figurer dans le budget des dépenses de l'exploitation, mais une seule fois : soit pour établir le prix de revient des travaux à ciel ouvert, en déchargeant l'intérieur de l'abatage de remblai, soit réciproquement. En outre, on dégage ainsi, de la manière la plus utile, l'aménagement du découvert, en faisant disparaître les stériles, pour lesquels il eût fallu trouver des places de dépôt, si l'intérieur ne les eût absorbés. Enfin, les frais d'extraction de ces matières se trouveront supprimés ou très simplifiés, si, au lieu de les remonter du fond de l'excavation jusqu'à la surface, on établit des communications souterraines, pour les faire descendre directement dans la mine.

Nous arrivons enfin aux carrières spéciales, que l'on établit au jour, dans le but de fournir du remblai. A l'inverse de ce que nous présentent tous les cas précédents, on aura pour celui-ci, au moins dans une certaine mesure, le choix de la roche à exploiter en vue de cet usage. Indépendamment de sa nature, la proximité de son emplacement devra être prise en considération, surtout si elle peut permettre l'installation de communications souterraines, destinées, comme dans la combinaison précédente, à éviter l'enlevage de ces matières jusqu'à la surface, en les faisant au contraire descendre directement dans les travaux.

Je citerai, en terminant, un mode de remblayage tout à fait exceptionnel ([2]). Il consiste à se servir indéfiniment, de proche en proche, du même remblai, sauf, bien entendu, à compenser une déperdition inévitable, mais en supprimant la nécessité, inhérente à tous les modes précédents, de se procurer une quantité de remblai exactement proportionnelle aux vides à combler. On fait couler ce remblai de tranche en tranche, ou de sous-étage en sous-étage, au fur et à mesure que l'exploitation progresse dans le sens descendant. Il est bon d'ajouter que les chantiers que l'on vide ainsi, ne se trouvant plus

([1]) Houillères de Blanzy, Commentry, Saint-Éloy (Puy-de-Dôme) ; mines de fer de Mokta-el-Hadid près Bône (n° 551).

([2]) Appliqué à La Mure, et dans la *deuxième brûlante* de la Béraudière.

soutenus, finiront par s'effondrer, mais ce sera seulement lorsque le personnel n'a plus à y rentrer, et que le remblai a rempli, pendant tout le temps nécessaire, son rôle de protection et d'échafaudage. C'est une sorte de compromis assez original, entre les principes de remblayage et de foudroyage, analogue au boisage suivi de déboisage.

§ 2

MODE D'EMPLOI DU REMBLAI

440 — *Introduction du remblai.* — La première idée qui se présente à l'esprit, pour l'introduction du remblai, est de le jeter dans des puits spéciaux; mais on s'expose par là à des bourrages dangereux. Tout au moins faut-il, quand on emploie ce moyen, évaser vers le bas la maçonnerie en forme de tronc de cône, afin de faciliter le débourrage. Les frais de reprise et de chargement à la recette inférieure viennent encore compliquer la question.

Il est plus rationnel, pour ce motif, de descendre les wagonnets eux-mêmes tout chargés. Le poids mort du véhicule reste théoriquement sans influence, car il est équilibré par celui du chariot vide, que l'on remonte par la même manœuvre. Il ne figure donc dans la dépense de travail que par les résistances passives dont il est l'occasion.

On descend ainsi les remblais *à charge*, c'est-à-dire en usant avec le frein le travail de la gravité. On peut se servir pour cela d'appareils spéciaux que nous décrirons plus tard (chap. XXXVI, § 4), ou de la machine d'extraction ordinaire, en engageant son frein, ou la contre-vapeur, dans les intervalles du trait ascensionnel du charbon.

Il serait assez naturel de concevoir, d'après cela, l'idée d'opposer les deux opérations l'une à l'autre, et de faire figurer comme moteur pour l'ascension du charbon, la descente du remblai correspondant (¹). Mais il en résulterait, en général, un assujettissement inadmissible pour l'extraction, tandis que celle-ci tend partout à redoubler d'activité, et que l'on cherche tous les moyens de la sim-

(¹) Ce service fonctionne régulièrement à Commentry.



Fig. 307. Cheminée dans le rocher (coupe verticale).

plifier le plus possible. De plus, cette combinaison est incompatible avec la séparation, dans des postes distincts, des deux services du charbon et du remblayage, qui est adoptée pour beaucoup de méthodes. Enfin, il arriverait, en faisant au même accrochage le roulage du remblai et du combustible pour la même taille, que le chemin parcouru en descendant par le charbon, deviendrait une rampe à gravir pour le remblai, ce qui tend à faire éviter ce système.

441 — Cette dernière difficulté a été écartée d'une manière très ingénieuse à la Grand'Combe, par l'organisation du *roulage circulaire* (¹). D'après la disposition de la mine de Champclauson, le charbon sort en galerie, et n'a qu'à descendre au niveau du chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée. En même temps, on a eu soin d'ouvrir les carrières de remblai au-dessus de la mine; et, par suite, le remblai n'a lui-même qu'à descendre jusqu'à ce point. Ce n'est donc pas entre ces deux substances que

(¹) *CRM*, 1883, 120.

l'on peut établir l'antagonisme. Le travail de la descente de la matière utile est employé à remonter le poids mort des véhicules, non seulement, comme nous l'avons dit pour le cas général, sur la hauteur parcourue par le charbon, mais, en outre, jusqu'au niveau supérieur où se trouvent les carrières de remblai, et même un peu au-dessus. C'est l'objet d'un organe très ingénieux, appelé plan bisautomoteur, et qui sera décrit plus tard (n° 657).

Dans ces conditions, le wagonnet partant de la taille plein de charbon, est roulé jusqu'au plan incliné intérieur, et y descend au frein jusqu'à la voie de fond, par laquelle il sort au jour. Il se rend alors spontanément, sans aucune traction, par des pentes calculées dans ce but, à l'accrochage intermédiaire du plan bisautomoteur. Il descend au pied de ce plan, en remontant un véhicule vide, de ce dernier point au sommet du plan. Ce wagon, toujours vide, roule alors de lui-même sur une pente automotrice, pour atteindre la carrière, où on le remplit de remblai. Il reprend ensuite sa course spontanée vers l'entrée de la mine de Champclauson, dans laquelle il pénètre par le plan incliné intérieur. On l'y descend au frein, jusqu'au sous-étage où se trouve la taille à laquelle il est destiné. Il y parvient enfin par la costresse correspondante en terminant son circuit. On obtient ainsi une circulation du charbon et du remblai par la seule action de la gravité, et sans l'intervention d'aucun moteur étranger, si l'on excepte les herschages ordinaires dans les galeries de niveau de la mine.

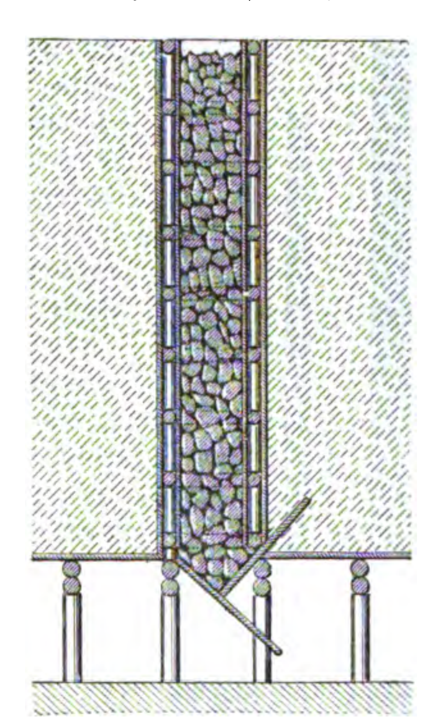


Fig. 308. Cheminée dans le remblai (coupe verticale).

442 — *Cheminées.* — Quand la hauteur n'est pas très grande, on emploie des *cheminées*, appareils qui figurent également, dans certaines méthodes d'exploitation, pour la descente du charbon à un niveau inférieur. On appelle ainsi de petits bures verticaux, ou des montages très raides, percés en plein massif (fig. 307), ou ménagés pendant la pose du remblai (fig. 308). Ces ouvrages sont fermés à la partie inférieure par une trappe. Les cheminées sont maintenues pleines. En ouvrant plus ou moins la trappe, on déverse dans les wagonnets amenés au-dessous, une partie du contenu de la cheminée. De cette manière, les matières descendent doucement, à la demande du roulage, et non en se précipitant dans le vide, avec beaucoup de dangers et de détériorations. Pour faciliter le glissement, on garnit l'intérieur de coulantages en planches, ou encore, lorsque la pente est insuffisante, en tôle, pour réaliser un moindre coefficient de frottement.

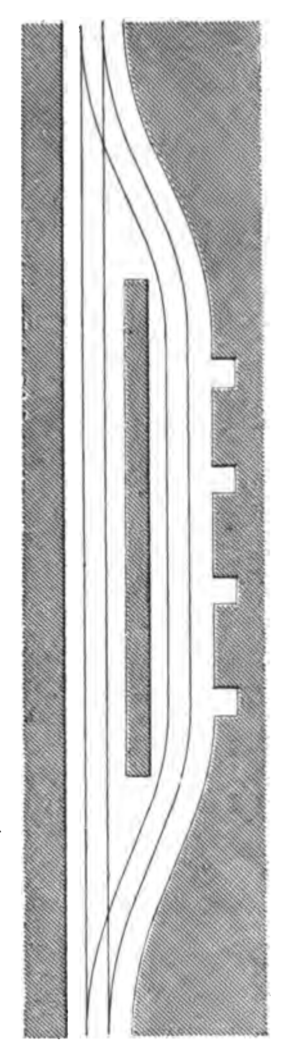


Fig. 309. Voie d'évitement pour les cheminées (coupe horizontale).

Ce mode de fonctionnement expose, à la vérité, à l'*ancrage* de la cheminée, les matières s'arc-boutant en voûte, et refusant de descendre; circonstance qui porte encore les noms de ***bourrage***, ***obstruction***, ***engorgement***. Comme le ***désancrage*** est une opération dangereuse, on a ménagé, dans certaines cheminées, un couloir latéral avec guichets de communication. Des gamins s'y engagent, et, en ouvrant les guichets, remettent les matières en mouvement avec des ringards. Mais un moyen plus simple et plus efficace

consiste à donner à l'ouvrage, comme aux puits de remblai (n° 440), au lieu de la forme prismatique, celle d'un tronc de pyramide légèrement évasé vers le bas. Dans ces conditions, quelques ébranlements suffisent pour déclancher les arc-boutements, et remettre la charge en mouvement.

On doit, au moins dans la mesure du possible, avoir le soin, trop négligé en général, de ne pas faire déboucher les cheminées, par le haut ou par le bas, dans l'axe d'une galerie ou d'un chantier. On dispose quelquefois à cet effet une voie latérale (fig. 309), sur laquelle les wagonnets viennent se charger au pied des cheminées, sans interrompre la circulation générale.

Dans les chantiers, il faut tenir la main à ce que la bouche de la cheminée soit toujours couverte de planches, excepté au moment même où l'on y veut *taper* le minerai. Quand il s'agit d'un véritable bure intérieur, on doit, pour la même raison, barrer avec des chaînes la galerie qui y accède, en ne les enlevant que pendant le temps strict de la manœuvre.

443 — *Mise en place du remblai.* — On prend pour principe de ne jamais remonter le remblai, si ce n'est d'un jet de pelle. C'est ce que les mineurs appellent *restaper*. On cherchera donc à constituer les méthodes d'exploitation, de manière que les matériaux, arrivant par le sommet du chantier, y soient simplement versés, et coulent à leur place par la seule action de la pesanteur.

Pour régler cette mise en place, on commence par dresser les parois à l'aide de murs en pierres sèches. On a soin notamment de garnir de pareils revêtements toutes les parois formées par du charbon. Ces portions sont, en effet, destinées à disparaître à un moment quelconque, et le remblai, que l'on aurait appuyé contre elles sans cette précaution, s'éboulerait infailliblement dans la nouvelle taille. Dans certains cas [1], au lieu de murs, on établit des cloisonnements en planches, pour maintenir les terres. On entasse ensuite celles-ci à la pelle par derrière.

On apporte un soin spécial à bien bourrer le remblai, et à le cla-

[1] Comme à la Buchne (Aubin, Aveyron).

ver au faîte, pour le mettre de suite en tension avec le plafond. C'est afin de soutenir celui-ci dès l'abord, de diminuer le tassement futur, et d'éviter la déperdition du courant d'air, ainsi que la formation de nids de grisou. Ce dernier point est d'une importance tellement capitale, dans les houillères sujettes à donner du gaz, que le bourrage des remblais y doit être l'objet d'une surveillance des plus attentives, pendant l'opération même, car le résultat est impossible à contrôler, une fois que les parements sont refermés.

444 — Dans une seule circonstance, on peut admettre que le remblai soit remonté à force de bras. C'est quand il s'agit de boucher

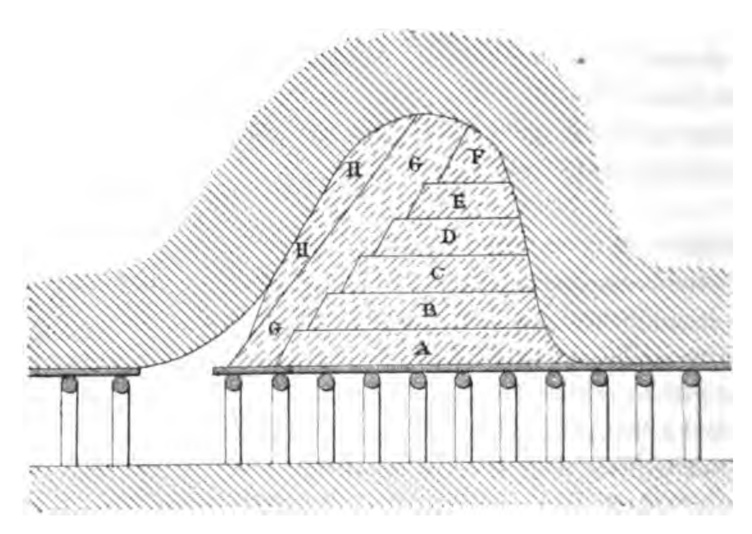


Fig. 310. Remblayage d'une cloche (coupe verticale).

une *cloche*, qui s'est déclarée dans le plafond. Cette irrégularité ne doit jamais, en effet, subsister dans une exploitation bien tenue, car le grisou a tendance à s'y loger, en raison de sa légèreté spécifique.

On commence, dans ce cas (fig. 310), par établir un grillage solide à la base de cette cloche. On y stratifie en A, B, C, D, E, F des lits de remblai bien bourré. Puis les hommes se glissent dans l'intervalle qui reste, pour disposer un parement G. Enfin, des gamins,

se hissant dans l'espace H, qui a été réduit autant que possible, montent, jusqu'au sommet, de petits sacs d'argile, qu'ils bourrent dans les moindres vides en reculant, après quoi l'on achève de fermer le boisage inférieur.

§ 3

AVANTAGES DU REMBLAI

445 — *Enlèvement complet.* — Le principal avantage [1] que présente le principe du remblayage est de permettre de tout enlever, sans rien laisser. Ce résultat, directement inverse du principe de l'abandon des massifs, ne se concilie qu'en partie, et d'une manière théorique, avec celui de foudroyage. Dans l'application, et surtout pour les couches puissantes, il y a toujours, quoi qu'on fasse, un gaspillage plus ou moins important. Avec l'emploi du remblai, au contraire, on peut toujours arriver effectivement à l'enlèvement complet.

Pour mieux dire, ce résultat n'est qu'une question de dépense. Quant à savoir si l'on peut l'obtenir économiquement, cela dépendra beaucoup moins de la méthode elle-même, que de la valeur absolue de la matière. Par exemple, le minerai de mercure d'Almaden vaut en moyenne 1200 francs le mètre cube massif [2]. On pourra donc utilement grever d'une dépense supplémentaire de 12 francs le prix de revient du mètre cube d'abatage, en vue d'éviter une déperdition d'un centième. Au contraire, cette somme de 12 francs est supérieure, ou très comparable au prix total de revient du mètre cube de charbon massif. Par conséquent, les mêmes dépenses ac-

[1] Bien avant l'essor qu'ont pris dans ces derniers temps les méthodes de remblayage, les avantages de ce principe avaient été mis en relief par Baillet du Belloy, professeur d'exploitation à l'École des mines de 1796 à 1832. Il y a eu pour successeur Combes, et, après lui, Callon, suppléant à partir de 1848, titulaire en 1856, suppléé de 1872 à 1875. Le cours avait été créé le 19 mars 1783 pour Duhamel, en même temps que l'École des mines elle-même, qui ne comprenait, au moment de sa fondation, que deux chaires. Sage occupait celle de minéralogie et docimasie.

[2] Certains échantillons des tellurures d'or de Mountain Lion et Keystone (Colorado) ont atteint la valeur de 25 000 francs la tonne. (Rolland, *Annales*, 7e, XIII, 159.)

cessoires, destinées à augmenter le rendement de la méthode d'exploitation, auraient une bien autre portée dans un charbonnage.

446 — *Montée sur le remblai, passage sous le remblai.* — Le remblayage présente encore l'avantage de fournir aux hommes un sol factice, et variable à volonté, qui leur sert à s'échafauder pour atteindre le faîte. Nous avons vu que les éboulis jouent en partie ce rôle dans les méthodes de foudroyage, mais d'une manière moins commode et plus dangereuse. Le piétinement sur le remblai dans ces conditions ne peut d'ailleurs qu'être favorable, en diminuant d'autant l'importance du tassement futur.

Non seulement l'ouvrier peut profiter du remblayage pour s'exhausser dans son chantier, mais, en envisageant l'ensemble de la méthode, on s'élève de tranche en tranche en *montant sur le remblai.* Cependant la nature des matières employées influera très directement à cet égard. Si elles sont trop meubles, les bois y pénétreront sans résistance, et, le point d'appui se dérobant, le boisage perdra son efficacité.

Lorsqu'il en est ainsi, de même que si la masse est incapable de se tenir en couronne, on renverse l'ordre d'exploitation des tranches. On les prend de haut en bas, en *passant sous le remblai;* mode relativement nouveau, et qui, bien que destiné par la nature des choses à rester d'une application plus rare que le précédent, s'est cependant beaucoup répandu depuis quelque temps. On retrouve ainsi l'ordre descendant de tranche en tranche, qui est inhérent au foudroyage, tandis que le principe du remblayage a ordinairement pour mode d'application l'ordre ascendant.

Pour pouvoir opérer ainsi, il est avantageux d'avoir un remblai capable de faire prise, et de présenter une certaine tenue au-dessus du vide, afin de ne pas se trouver conduit à exagérer les moyens de soutènement. A défaut de pareilles matières, on commencera par disposer sur la sole les morceaux les plus gros et les plus plats, en entassant le reste par-dessus, en vue de retrouver, en tranche inférieure, un plafond plus aisé à soutenir. On étale même, s'il est nécessaire, des garnissages en bois, qui se trouvent ainsi tout placés quand on revient par-dessous, et facilitent alors la pose des cha-

peaux et des montants. Ces derniers seront placés le gros bout en haut, pour que la conicité apporte un certain obstacle à leur enfoncement, quand la charge donne. On voit, en effet, les bois supérieurs percer dans la taille, et l'on est obligé d'en scier des tronçons.

Si le remblai est trop mauvais, on écarte définitivement le mode descendant. Il n'en faut pas moins exceptionnellement, lorsqu'en montant de tranche en tranche, on arrive au sommet d'un étage, passer sous les remblais de l'étage supérieur. On obvie alors à cette difficulté, en abandonnant un estau, ou en jetant, à la base de chaque étage, destinée à devenir plus tard le sommet du suivant, des voûtes de maçonnerie, pour soutenir la masse de ses remblais et en reporter la charge sur les épontes.

§ 4

INCONVÉNIENTS DU REMBLAI

447 — *Tassement.* — Le tassement est le phénomène opposé à celui du foisonnement, et il en est d'ailleurs la conséquence. C'est la rentrée des matières ameublies, dans un espace moindre que leur volume factice, mais encore supérieur néanmoins à celui qu'elles occupaient en place, avant d'être exploitées.

La proportion du tassement est extrêmement variable. Très réduite pour des pierres disposées à la main, elle s'élève, avec des matières argileuses, à 50 pour 100, et peut même approcher de 75 pour 100. Le tassement est plus grand le long des voies que dans l'intérieur des massifs, à cause du supplément de charge qu'impose à ces zones frontières, la charge de la partie qui surmonte le vide de la galerie. On observe à cet égard des différences de 20 à 30 pour 100 à la Grand'Combe, et jusqu'à 40 pour 100 à Commentry.

Le tassement est évidemment un inconvénient, puisque c'est la négation partielle du but que l'on se propose dans le remblayage, à savoir le maintien du toit. Il a pour résultat de fendiller le charbon en couronne, de permettre la diffusion de l'oxygène dans

cette masse crevassée, et, par suite, l'oxydation des carbures d'hydrogène, l'échauffementqui accompagne cette combustion lente, et, finalement, l'incendie. De plus, le charbon ainsi froissé donne plus de menu que dans son état naturel.

Ces divers effets tendent à limiter le nombre de tranches que l'on peut prendre en ordre ascendant, et forceront, dans certains cas, à lui substituer le passage sous le remblai.

Il existe cependant certains combustibles d'une dureté excessive, pour lesquels ce léger brisement a plutôt pour résultat de faciliter utilement le travail d'abatage en tranches supérieures. Il faut toutefois noter, à titre d'exception très rare, une circonstance inverse, qui a été observée à Commentry et à la Grand'Combe. C'est une sorte de coincement du charbon, qui se resserre sur lui-même dans les porte-à-faux, et devient par là plus difficile à abattre en seconde tranche qu'en première.

448 — *Fracture du terrain.* — Il semble, qu'aux avantages énumérés dans le paragraphe précédent, l'on doive joindre la conservation de la surface, puisqu'en même temps que l'on crée le vide intérieur, on le supprime par le remplissage. Mais, dans la réalité, il y a beaucoup à rabattre de cette abstraction.

En raison du tassement, en effet, le plafond ne saurait rester en place. Il s'affaissera en suivant le remblai, sur une portion de la hauteur du chantier. Dans le foudroyage (n° 410), les premières zones tombaient de toute cette hauteur, puis la propagation allait en s'atténuant, et s'arrêtait à un certain niveau. Ici, l'on n'aperçoit aucun motif, pour que la masse entière ne descende pas d'un seul bloc. S'il en était ainsi réellement, la surface resterait inaltérée. Sa cote d'altitude aurait seule éprouvé une certaine modification, circonstance qui serait d'ailleurs sans aucun intérêt.

Les choses se passeraient en effet de cette manière, s'il était possible que le gîte se trouvât supprimé à la fois sur toute son étendue. Mais, dans la réalité, ce dépècement marche progressivement, d'après le déplacement qu'éprouvent de proche en proche les fronts de taille. Il existe donc des portions de la superficie qui se trouvent suspendues sur le remblai, tandis que d'autres portent

encore directement sur le ferme; et la séparation est nette et précise entre les deux. Le plafond joue, d'après cela, par rapport au remblayage qui se dérobe au-dessous de lui par le tassement, le rôle d'une poutre encastrée, chargée sur sa face supérieure. Il aura, par suite, tendance à se rompre dans cet encastrement, c'est-à-dire le long du front de taille. Cette fracture une fois opérée, toute cette partie du terrain s'affaisse avec le remblai, puis les mêmes phénomènes recommencent, quand l'avancement s'est porté plus loin.

Il s'ensuit que la surface sera sillonnée par une série de fentes plus ou moins parallèles, qui auront pour résultat de hacher successivement le terrain. De plus, ces affaissements verticaux s'accompagneront de mouvements de bascule, qui feront ***bâiller et ouvrir les lèvres des fentes***. On comprend donc combien il s'en faut que le remblayage respecte la superficie. Il est même, en un sens, à cet égard, le moins favorable des trois principes fondamentaux, en ce que le foudroyage peut au moins atténuer ses ravages en raison de la profondeur, par l'influence du foisonnement (n° 410), tandis que, cette circonstance n'existant pas pour le remblayage, la propagation est à peu près indépendante de la hauteur [1]. Le principe de l'abandon de massifs suffisants, reste donc seul pour sauvegarder d'une manière absolue la surface.

449 — ***Investisons***. — Aussi a-t-on soin, comme nous l'avons déjà dit (n° 383), de réserver, sous les parties les plus essentielles, des massifs de protection. Mais, si l'idée est des plus simples, sa réalisation se trouve environnée de grandes difficultés. La détermination rationnelle de ces investisons devrait, en effet, s'appuyer sur une notion précise des lois qui président à la propagation des fractures à travers le terrain, afin de défiler la région critique, dans un périmètre enveloppé par toutes les cassures que pourront déterminer les bords de cet investison. Or la connaissance de ces lois est encore enveloppée d'une grande obscurité [2].

[1] C'est ce que met encore en évidence la formule (1) (n° 410), car H augmente au delà de toutes limites, lorsque n se rapproche indéfiniment de l'unité.

[2] Leur importance, au point de vue théorique, augmente encore par cette circonstance, que des villes entières, assises sur des formations houillères, comme Saint-

Elles ont pourtant été l'objet de travaux remarquables (¹), mais on comprend à quel point la question est complexe, en réfléchissant au grand nombre d'éléments dont dépend la résultante, ainsi qu'à la difficulté et à la rareté des observations. M. Dumont assimile, comme nous venons de le faire, un banc *horizontal* du toit, à une poutre encastrée, qui doit rompre dans l'encastrement. Il admet que cette loi subsiste, lors même que la couche s'incline jusque vers 68 degrés. La propagation de proche en proche de cet effet dans les strates parallèles, a, dans ce cas, pour effet d'atteindre le sol dans une direction oblique, parfois assez éloignée de la verticale des chantiers. Des effets de ce genre ont en effet été observés. Il est vrai que l'on peut objecter à cette manière de voir que, l'oblique étant plus longue que la perpendiculaire, la règle de la moindre résistance devrait produire, au contraire, un détachement du terrain suivant un plan vertical. Mais Callon fait observer à juste titre que ce raisonnement, qui serait plausible pour une rupture effectuée d'un seul coup à travers toute la masse, perd sa valeur dans la réalité, car les couches cèdent l'une après l'autre, et chacune, par conséquent, suivant sa propre ligne de moindre résistance qui est la normale.

Lorsque des terrains se trouveront superposés en discordance de stratification, la ligne de propagation de la dislocation se déviera elle-même, et se dirigera suivant la normale des nouveaux plans de joint. Si une couche est contournée, les cassures cessent d'être parallèles entre elles, pour rester normales à la surface courbe. La tendance à la rupture diminue d'ailleurs d'intensité, lorsque l'inclinaison augmente, car la pesanteur n'y intervient plus que par l'une de ses composantes. Il est clair également que, si des failles existent d'avance à travers le terrain, le plan de moindre résis-

Etienne, Liège, Essen, etc., se voient serrées de près, ou déjà minées par les exploitations.

(¹) M. Von Decken, pour le bassin de la Ruhr (*Rev. univ. d. m. et u.*, XXVIII, 197, 260), et M. Schultz (*ibidem*, 1873, 455) se sont spécialement occupés de cette recherche. M. G. Dumont a publié en 1871 un mémoire considérable sur ce sujet (*Des affaissements du sol produits par l'exploitation houillère*, in-4°, Liège, 1871); et il y a été répondu, en 1875, par un travail analogue de *l'Union des charbonnages belges* (*CRM*, février 1876, p. 7). Quelques ingénieurs français ont également publié des observations de ce genre (*CRM*, 1875, avril, 6; septembre, 1; octobre, 5; 1876, février, 6).

tance pourra quitter la normale de la stratification et s'étendre dans leur plan.

Ces divers énoncés, bien que rationnels, paraissent trop absolus pour se trouver complètement vérifiés dans la pratique. On a fait remarquer notamment que, pour les couches très redressées, la tendance à la rupture par écrasement venant se mêler à celle de la fracture par flexion transversale, devra incliner les plans de séparation suivant des angles variables, sans qu'il soit aisé d'en discerner la loi *a priori*.

450 — Si l'on accepte néanmoins ces formules à titre provisoire,

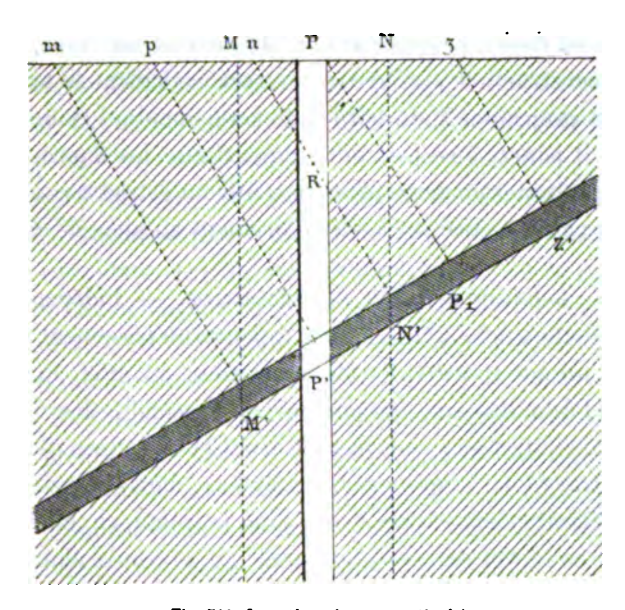


Fig. 311. Investison (coupe verticale).

elles apportent un grand secours à la détermination rationnelle des investisons. Nous prendrons comme exemple la préservation d'un puits [1].

L'usage, en pareil cas, pour ne pas dire la routine, impose un certain *rayon de protection*, c'est-à-dire la conservation de la masse à

[1] Callon, *Cours d'exploitation des mines*, II, 334.

l'intérieur d'une gaine, concentrique au puits, dont le rayon est déterminé arbitrairement d'après la solidité du terrain. Mais cette solution est plus nuisible qu'utile pour un gîte incliné.

Si, en effet (fig. 311), on réserve autour du puits P le cylindre MN; c'est-à-dire, dans la couche exploitée, le massif M'N', on peut remarquer, d'une part, qu'une de ses moitiés P'M' est inutile, puisque la propagation M'P' *mp* des désordres produits par son déhouillement n'affectera en rien le puits. Quant à l'autre moitié P'N', elle ne peut être que nuisible, attendu que la cassure N' se propagera suivant N'*n*, et déterminera en R la rupture du cuvelage. Pour assurer, au contraire, la protection de toute la colonne P'P, il faut conserver sa projection orthogonale $P'P_1$, sur le plan de la couche. Si, en outre, on désire protéger autour de l'orifice une zone P*z* recouverte de constructions, on devra réserver également le massif P_1Z', limité à la projection Z' du bord *z* de cette étendue. Quant à l'aval-pendage, il pourra être pris entièrement. Sur les flancs, en direction, on se limitera à deux plans tangents au cylindre concentrique qui passe par *z*, menés perpendiculairement au plan de la couche.

451 — *Échauffement par l'affaissement.* — Indépendamment de la production des fractures, on a rapporté au tassement un inconvénient d'un autre ordre. Parmi les causes, en effet, qui peuvent produire l'échauffement, précurseur de l'incendie des charbonnages, certains ingénieurs ont mis en avant la transformation en chaleur, du travail développé par la pesanteur, dans l'affaissement qui suit le déhouillement. Cette explication présente, en effet, un côté spécieux, en raison de l'énorme masse qui se trouve alors mise en mouvement, et de laquelle on peut attendre des effets calorifiques intenses. Mais il me paraît facile d'en préciser la véritable valeur [1]. Elle réside entièrement, à mon sens, dans une distinction fondamentale, suivant que l'affaissement s'opère ou non d'une manière régulière, au-dessus du champ d'exploitation.

Supposons, en premier lieu, que tout le terrain descende uniformément. Alors l'importance de la masse disparaît ; car si le travail,

[1] Haton de la Goupillière. De l'échauffement dû à l'affaissement (*Annales*, 7e, XVII 322.) — Durand. Incendies des houillères (*Bull. min.*, 2e, XII, 56).

et par suite la chaleur développée, sont proportionnels au poids en mouvement, sa répartition s'effectuant sur cette même masse, elle développe une température qui en devient indépendante. S'il s'agit de méthodes de remblai, la masse sera plus grande en général que pour le foudroyage, puisque l'affaissement du terrain se fait alors tout d'une pièce, tandis qu'avec ce dernier principe il se limite en hauteur. Mais cela ne constitue, quant au résultat calorifique, aucune différence entre ces deux cas, puisque nous venons de dire que la masse est sans influence. Au contraire, le remblayage échauffera moins que l'éboulement, en raison du second facteur qui figure dans l'expression du travail, à savoir la tombée. En effet, le tassement sur le remblai n'est jamais qu'une fraction de la hauteur du chantier, tandis que l'éboulement s'effectue sur toute cette hauteur. Si donc nous montrons que l'effet est sans importance dans le cas du foudroyage, cette conclusion s'étendra à fortiori à celui du remblayage.

Je viens de dire que, lors de l'éboulement, les matières tombent de toute la hauteur *h* de la taille. Ceci n'est vrai cependant que pour la partie inférieure. Les régions les plus élevées de la propagation n'éprouvent en ce qui les concerne qu'un déplacement insignifiant. On pourrait donc admettre pour l'ensemble une moyenne, qui serait la demi-hauteur. Mais il sera, cependant, plus juste d'accepter, comme je l'ai dit tout à l'heure, la hauteur totale *h*, car nous devons ici nous préoccuper, non de la moyenne, mais du maximum; et, d'ailleurs, la partie inférieure, qui éprouve ce déplacement *h*, est en même temps celle qui se trouve le plus immédiatement à portée de mettre le feu dans les travaux, s'il y a lieu.

Si donc nous envisageons l'unité de poids, elle fournit un nombre de kilogrammètres égal à *h*. Ceux-ci se convertiront en $\frac{h}{425}$ calories, et développeront une élévation de température marquée par $\frac{h}{425.C}$, en désignant par C la chaleur spécifique des matières. La valeur de cette dernière donnée, pour les matériaux analogues à des roches ou du charbon, ne paraît pas s'éloigner beaucoup de $\frac{1}{5}$, ce

qui fournit pour le nombre de degrés : $\frac{h}{85}$. D'ailleurs, sauf des exceptions dangereuses, on peut admettre que la hauteur h des chantiers ne dépasse pas 5 mètres, ce qui réduit la valeur définitive à $\frac{1}{17}$ de degré centigrade, résultat absolument insignifiant. Il importe, en outre, de remarquer, qu'en transformant en chaleur la totalité du travail de la pesanteur, nous avons encore exagéré l'élévation de température, puisqu'une partie de ce travail est employée à effectuer des déformations.

452 — On voit par là que, si l'on suppose le tassement rigoureusement uniforme dans sa répartition, son influence doit être considérée comme nulle pour l'échauffement. Mais il n'en sera plus de même si l'on admet des porte-à-faux, des renvois de pression, des arc-boutements ; en un mot, un mécanisme quelconque de concentration des forces, et par suite du travail de frottement, ou enfin de la chaleur, sur des points spéciaux. Alors la masse ne disparaît plus comme dans le cas précédent, car le travail reste proportionnel au poids en mouvement, tandis que la chaleur ne se répartit plus, pour une grande partie du moins, que sur une quantité de matière beaucoup plus restreinte. On peut ainsi atteindre par la pensée tous les degrés d'échauffement, et, bien certainement, on en rencontrera parfois plus qu'il n'est nécessaire, pour déterminer l'inflammation des charbons qui s'y trouveraient prédisposés par leur nature. Il en sera surtout ainsi, lorsque des substances spéciales, telles que les pyrites, viendront à subir une friction intense. On doit remarquer de même que, si des masses d'air confinées dans un milieu étanche, venaient à être comprimées par un tassement brusque, elles pourraient s'échauffer, comme dans le briquet à air, et provoquer l'inflammation du combustible.

L'affaissement uniforme n'existe pour ainsi dire pas dans la réalité, et le phénomène procède, au contraire, par coups de charge successifs. Mais la conclusion pratique n'en doit pas moins être de développer le plus possible, dans les méthodes d'exploitation, la tendance à l'uniformisation et à la régularité des affaissements,

en évitant, autant qu'on le pourra, les mouvements brusques dont l'influence a été, en effet, constatée dans la pratique, en ce qui concerne l'inflammation des gîtes de combustible.

453 — *Dépense du remblayage.* — Il faut enfin mentionner, comme l'un des plus notables inconvénients du remblayage, la dépense supplémentaire qu'il ajoute au prix de revient.

La quantité de remblai, rapportée à celle de houille dont elle prend la place, oscille pratiquement depuis 30 °/₀ jusqu'à 85 °/₀, et se tient, en général, entre 50 et 70 °/₀.

Le volume qu'un homme peut mettre en place, par poste de travail, varie, suivant les circonstances, de 6 à 15 mètres cubes.

Le prix du remblai de carrière reste compris, pour une tonne de houille, entre $0^f,45$ et $1^f,60$; et, le plus souvent, entre $0^f,80$ et $1^f,20$. Si on le rapporte au mètre cube de remblai, l'on peut prendre pour les valeurs extrêmes $0^f,80$ et $2^f,50$; et, comme limites plus ordinaires : $1^f,50$ à $2^f,00$ (1). Dans ce total, et sauf la variabilité particulière à chaque cas, les frais d'exploitation du remblai peuvent entrer pour les trois cinquièmes environ, et ceux de la mise en place, pour les deux cinquièmes.

454 — En vue de diminuer ces dépenses, tout en conservant, au moins en partie, les avantages du remblayage, on emploie dans certaines mines (2) des *remblais partiels*. C'est ordinairement sous l'empire de la nécessité, en raison, tout à la fois, de l'insuffisance des remblais que l'exploitation fournit à pied d'œuvre, et du prix trop élevé qu'exigerait l'introduction de matériaux extérieurs.

On dispose alors, de distance en distance, des *piliers à bras* en pierres sèches, et, surtout, des parements continus, le long des galeries que l'on veut maintenir, pour les communications et la circulation de l'air. La pénurie de remblai devient souvent telle, que ces méthodes finissent par se rapprocher plutôt du principe de fou-

(1) Amiot. *Annales*, 7e, IV, 165. — Fayol, *CRM*, 1878, 121.
(2) Beaubrun, Marles, Ronchamp, Mariemont, Sarre-et-Moselle, Albertschacht (Sarrebrück), Carpano (Istrie), et un très grand nombre de houillères anglaises.

droyage, que de celui du remblayage, appliqué d'une manière aussi insuffisante.

§ 5

MÉTHODES DE REMBLAYAGE

455 — La réalisation effective du principe général de l'emploi du remblai, comporte encore plus de variations, que nous ne l'avons vu pour le foudroyage. Nous commencerons par répartir ces méthodes en deux groupes, relatifs aux *gîtes minces* et aux *gîtes puissants*.

En ce qui concerne les gîtes minces, nous envisagerons d'abord le cas, où le degré de solidité du gisement et de son toit, amène à restreindre les dimensions du chantier dans d'étroites limites, et à terminer toute son élaboration : attaque et remblayage, sur cette échelle réduite, avant d'en ouvrir un autre semblable. Cette localisation ne s'en concilie pas moins avec une activité de production aussi grande que l'on voudra, par la mise en train simultanée, sur divers points, d'un nombre suffisant de pareilles tailles. Cette succession d'alvéoles juxtaposés finit par embrasser tout le champ d'exploitation. De là un premier système, auquel nous donnerons le nom de *méthode des chambres*.

Le système opposé consiste à se développer en grandes tailles, en imprimant au chantier un caractère d'unité, qui le sépare du mode précédent, de même que dans l'application du foudroyage, le long-wall se différencie des méthodes des massifs. La grande taille envahit progressivement tout le champ d'exploitation qui lui est offert, en s'y propageant d'une manière continue, par le déplacement incessant de son front de taille, et non plus par l'accumulation successive de chantiers distincts, dont l'un termine son évolution, tandis que d'autres commencent à naître. On trouverait encore, pour exprimer cette différence, une analogie avec celle qui sépare, dans l'analyse mathématique, les grandeurs continues, capables de dépasser toutes limites, sans avoir omis aucune valeur intermé-

diaire, et les nombres entiers, qui arrivent au même résultat par l'addition successive d'unités distinctes et indivisibles, suffisamment multipliées. Ce second système constitue la *méthode des grandes tailles*.

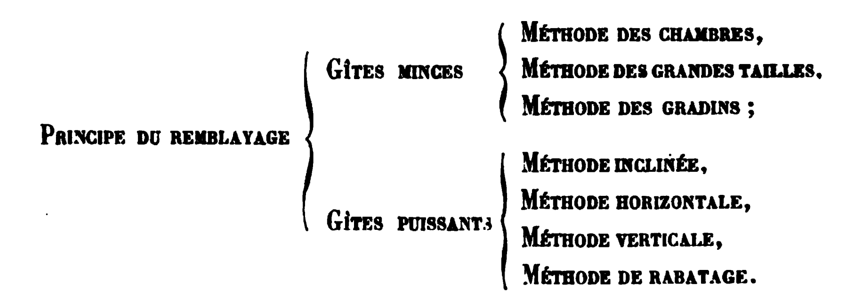
Son dispositif présente, sous le rapport géométrique, une grande analogie avec celui des longwall. Il n'en diffère au fond que par la substitution de l'emploi du remblai à la chute du toit. On y trouve donc, pour les mêmes motifs, un ensemble de décrochements, soit en plateures, soit en dressant. Mais, la pesanteur intervenant de manières très diverses, suivant ces deux cas, sur les éléments de cette configuration, il s'ensuit, dans l'application, des différences assez profondes, pour qu'il convienne d'envisager à part l'hypothèse du redressement de ce diagramme dans un plan très incliné; nous en ferons alors la *méthode des gradins*.

456 — En ce qui concerne, en second lieu, les gîtes puissants, l'artifice de la division en tranches ramène ce cas à celui des gisements minces. Nous rencontrerons donc, tout d'abord, les deux modes essentiels qui ont déjà figuré dans l'application du foudroyage, suivant que l'on emploie, pour cette subdivision, des plans horizontaux ou parallèles à la stratification. Ils nous fourniront la *méthode inclinée* et la *méthode horizontale*. C'est à ces deux types que l'on peut rapporter l'exploitation de l'immense majorité des gîtes puissants.

Il y a lieu toutefois d'en ajouter un autre : *la méthode verticale*, qui répond à une nécessité toute particulière, et s'applique spécialement aux charbons très inflammables. La condition *sine qua non* est en effet, alors, de s'élever rapidement de la base au faîte, en colonne verticale, au-dessus d'une projection horizontale assez restreinte, pour que la durée de ce déhouillement n'atteigne pas celle d'un échauffement notable de la pile.

Nous terminerons, enfin, par la description d'une méthode spéciale, appelée le *rabatage*, dont le principe, élégant et ingénieux, qu'il serait prématuré de décrire en ce moment, peut se superposer à un certain nombre des méthodes précédentes, pour en constituer autant de variantes.

En résumé donc, l'application du principe du remblayage à la constitution des méthodes d'exploitation peut être formulée par le tableau suivant :



CHAPITRE XXI

MÉTHODES DE REMBLAYAGE — GITES MINCES

—

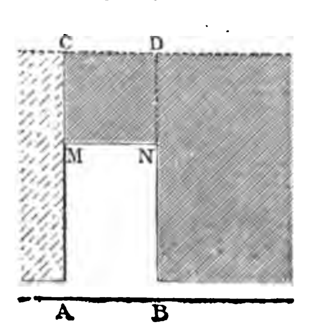
§ I

MÉTHODE DES CHAMBRES

457 — *Constitution du chantier élémentaire*. — Chaque chantier élémentaire s'appuie, de toute nécessité, sur une voie de communication, que l'on utilise, bien entendu, pour en desservir à la fois un certain nombre. Il peut être établi d'après deux modes fondamentaux, selon qu'il devra percer dans la voie parallèle la plus proche du réseau général de traçage, ou, au contraire, s'arrêter en cul-de-sac, à mi-distance. Dans ce dernier cas, le massif long compris entre ces deux galeries est pris par deux systèmes de chantiers, partant respectivement des voies qui le bordent, en même temps que chaque galerie sert, de son côté, de base d'opérations pour deux systèmes de culs-de-sac, établis sur ses deux flancs.

Cette dernière formule s'emploiera ordinairement en plateure; le roulage pouvant alors se faire de la même manière des deux côtés de la galerie, ce qui n'aurait pas lieu avec un pendage prononcé. En outre, dans un gîte incliné, le grisou aurait tendance à stationner au front de taille du chantier en remonte, ou l'eau, dans le fond des ateliers en descente. Dans un pareil gisement, le chantier percé de part en part convient beaucoup mieux, à tous les points de vue. D'une part, la ventilation s'y développe d'une manière ascensionnelle, l'air entrant à la base et sortant par le sommet. En

outre, le roulage s'y fait partout en descendant ; le remblai arrivant



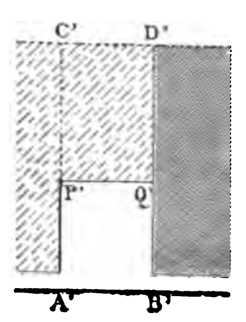
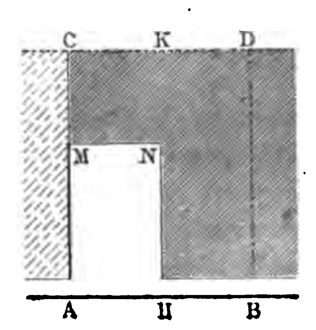


Fig. 312 et 313.
Méthode des chambres Attaque et remblai simples. Périodes directe et rétrograde.

par la galerie supérieure, et le charbon sortant par la voie de fond.



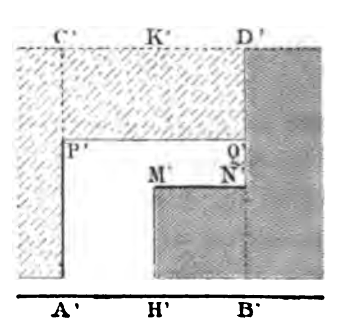
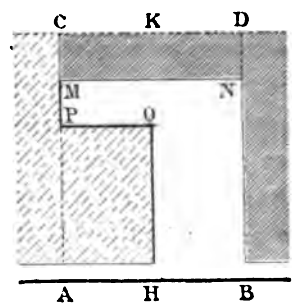


Fig. 314 et 315.
Méthode des chambres. Attaque double et remblai simple.
Périodes directe et rétrograde.

458 — Le cul-de-sac peut être constitué de diverses manières, sui-



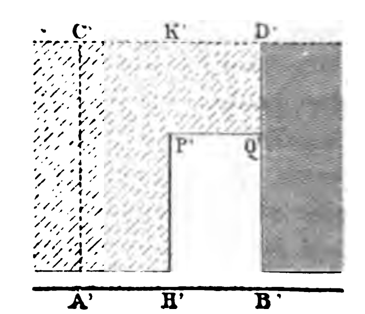


Fig. 316 et 317.
Méthode des chambres. Attaque simple et remblai double.
Périodes directe et rétrograde.

vant le degré de solidité du toit et du massif, qui permet de l'ouvrir sur une largeur plus ou moins grande (¹).

1° *Attaque et remblai simples.* — Le cas le plus simple est réservé pour la moindre solidité (fig. 312). Pour prendre le rectangle ABCD, que nous supposerons de 2 mètres de largeur, afin de fixer les idées, on attaque directement en AB, en poussant le front de taille MN jusqu'au fond CD ; après quoi l'on remblaye (fig. 313), en rétrogradant de C'D' en P'Q', et jusqu'en A'B', pour rétablir le parement de la galerie.

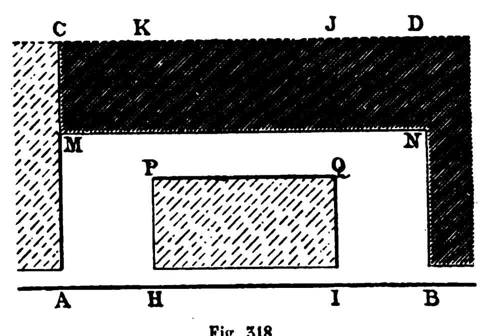


Fig. 318.
Méthode des chambres.
Attaque simple et remblai triple.
Période directe.

2° *Attaque double et remblai simple.* — Si la solidité permet de donner une largeur double à la taille, on attaque sur la moitié seulement AH (fig. 314) de la largeur AB, et l'on avance en MN, jusqu'au fond CK. A ce moment, on tourne d'équerre deux fois de suite, et l'on revient en arrière, de K'D' en H'B' (fig. 315), en attaquant en M'N' la seconde moitié du lopin, et se faisant suivre par le remblai sur toute la largeur P'Q'.

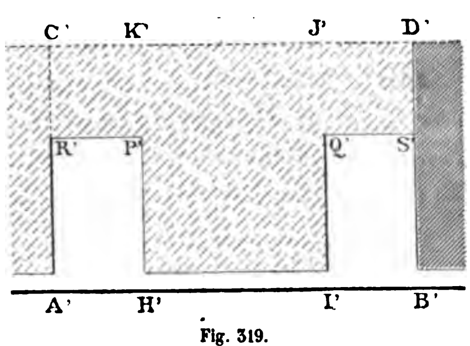


Fig. 319.
Méthode des chambres.
Attaque simple et remblai triple.
Période rétrograde.

(¹) Ces types gradués sont très méthodiquement employés à la Béraudière (*Notice* sur la Société anonyme de Montrambert et la Béraudière, in-8°, 1878, Saint-Étienne, p. 46).

3° *Attaque simple et remblai double.* — Avec un degré de plus de solidité, l'on conserve les dimensions de cette seconde variante, mais on abat plus au large, pour améliorer le rendement du piqueur. On laisse alors supporter la moitié de la travée par le remblai, et non plus par le ferme. On attaque en AB (fig. 316) sur toute la largeur, et l'on pousse le front de taille MN jusqu'en CD. Pendant ce temps, on se fait suivre par le remblai PQ sur la moitié de la largeur, en réservant l'autre pour le roulage. Quand on est arrivé à fond (fig. 317), on remblaye en P'Q' la seconde travée, en reculant de K'D' jusqu'en H'B'.

4° *Attaque simple et remblai triple.* — Pour les charbons très solides, on embrasse d'un seul coup (fig. 318) une largeur AB double de celle des deux variantes précédentes, et quadruple de la première. On pousse le front de taille MN jusqu'au fond CD. Pendant ce temps, on se fait suivre par le remblai PQ sur la moitié seulement de la largeur, en réservant les deux autres quarts pour l'entrée du remblai et la sortie du charbon, les véhicules circulant toujours dans le même sens. Quand on est arrivé à fond (fig. 319) on remblaye les deux rues à la fois en P'R' et Q'S', en reculant de C'K' en A'H', et de D'J' en B' I'.

459 — Passons maintenant aux chantiers ouverts par les deux extrémités. Ils comportent eux-mêmes deux variantes, suivant que le degré de solidité limite à une très faible largeur, ou qu'il permet au contraire de s'étendre d'une manière quelconque.

1° *Attaque et remblai successifs. — Atelier rectiligne.* — Pour prendre le rectangle ABCD (fig. 320), on attaque en AB et l'on pousse le front de taille MN jusqu'en CD. A ce moment, on verse du haut C'D' du sous-étage (fig. 321) le remblai, qui vient se placer de lui-même par la pesanteur en P'Q', dans la partie inférieure du chantier, dont on a commencé par rétablir le parement A'B'.

Dans ces conditions, il n'est plus nécessaire, comme dans tous les types du mode en cul-de-sac, d'attendre que l'atelier soit terminé pour en ouvrir un autre à la suite. On peut attaquer par le pied un nouveau chantier, dès que le remblayage a commencé à

s'élever, et sans avoir besoin pour cela qu'il ait atteint le sommet de l'ouvrage.

2° *Attaque et remblai simultanés. — Atelier en baïonnette.* — Le travail destiné à prendre un rectangle ABCD (fig. 322) porte à la fois

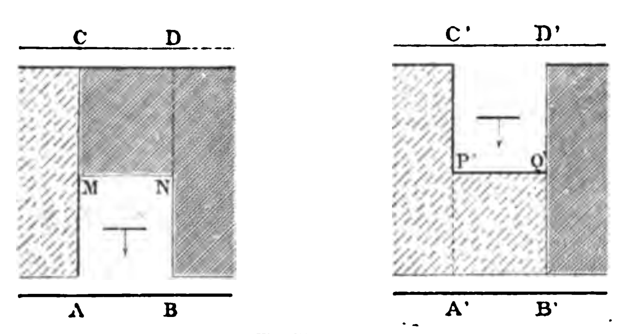


Fig. 320 et 321.
Méthode des chambres. Atelier rectiligne. Périodes d'abatage et de remblayage.

sur ABCD lui-même, et sur une bande ACU_0V_0, restée libre après l'exploitation du rectangle précédent; de même que la bande BDUV, qui va rester ouverte à la fin du dépilage actuel, jouera à son tour

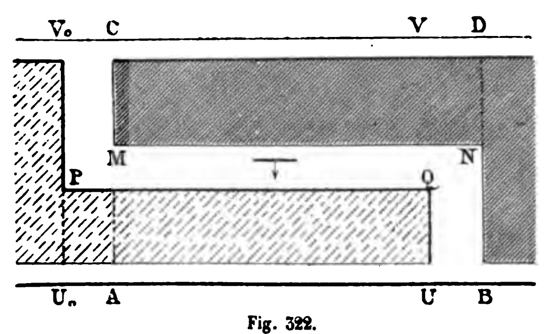


Fig. 322.
Méthode des chambres. Atelier en baïonnette.

le rôle correspondant, pour le déhouillement du rectangle suivant.

La bande située sur le flanc du lopin, du côté vers lequel progresse l'exploitation, figure donc deux fois dans les opérations. La première fois, comme en BDUV, elle forme un couloir de sortie par le bas pour le charbon, actuellement ouvert en BNUQ, et ménagé pen-

dant la pose ascendante du remblai UQU_0P. Ce premier couloir va toujours en s'accroissant vers le haut, à mesure que le front de taille MN, originairement attaqué en AB, se porte vers la partie supérieure CD ; le remblai le suivant en PQ, depuis UU_0 jusqu'à VV_0.

Dans la seconde période, représentée, par rapport au rectangle actuel, en ACU_0V_0, les fonctions de cette bande s'intervertissent. Elle

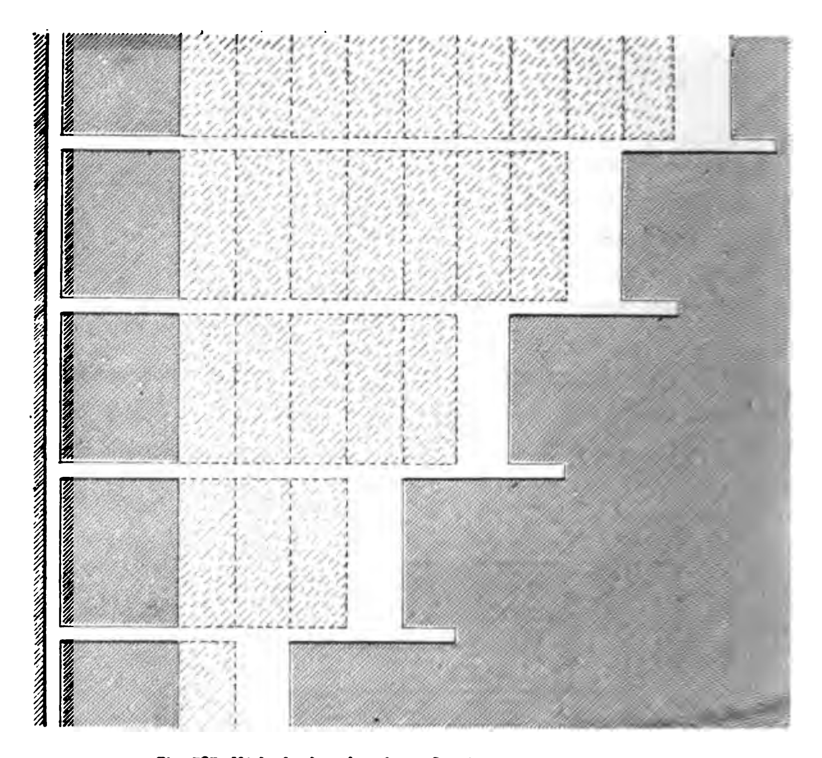


Fig. 323. Méthode des chambres. Dépilage direct sans traçage.

forme pour le remblai un couloir d'entrée par la partie supérieure, lequel, ouvert du haut en bas à l'instant initial, va toujours en se raccourcissant à la base, au fur et à mesure de la montée du remblai.

De cette manière, le lopin ABCD est déhouillé d'un seul coup suivant AB, et remblayé, au contraire, en deux fois, à savoir : en AMUQ, pour la plus grande partie, par la marche ascensionnelle du rem-

blai jusqu'en ACUV, pendant l'exploitation du rectangle actuel, et, plus tard, pour la partie BNUQ, poussée jusqu'en BDUV, lors du déhouillement du rectangle suivant.

Dans cette description des divers dispositifs de l'atelier élémentaire de la méthode des chambres, je me suis placé exclusivement au point de vue géométrique. Les détails relatifs au boisage prennent naturellement beaucoup d'importance dans l'organisation des chan-

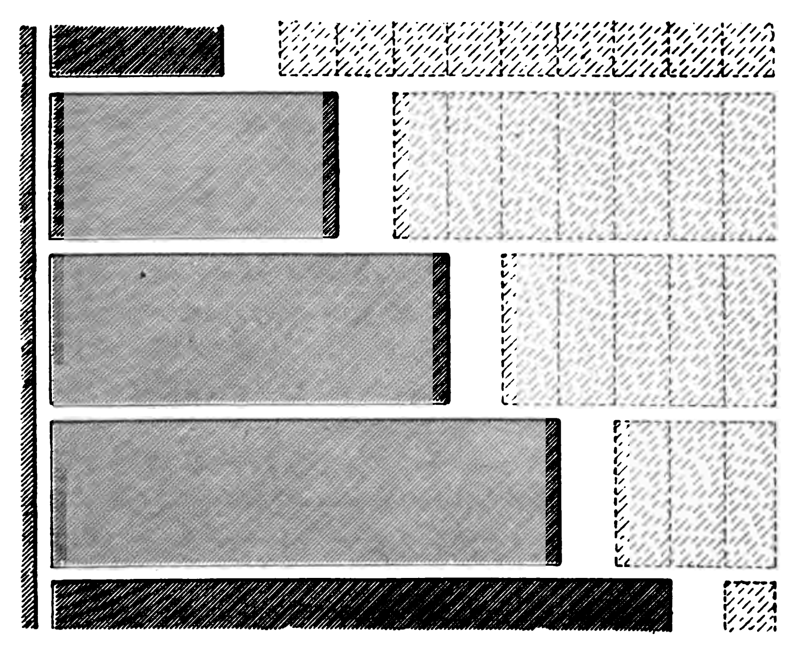


Fig. 324. Méthode des chambres. Dépilage rétrograde avec traçage.

tiers, mais ils ont été déjà envisagés dans le chapitre X, de manière à me dispenser d'y insister en ce moment.

460 — *Mode direct.* — Quant à la disposition générale à donner à l'ensemble de ces tailles, la méthode des chambres peut s'appliquer suivant deux modes distincts : *direct* et *rétrograde*, c'est-à-dire avec ou sans traçage; différence très importante, que nous avons déjà rencontrée dans les méthodes du foudroyage.

Dans le mode direct, ou sans traçage (fig. 323) [1], on ménage sur le flanc du plan incliné un massif de protection, percé seulement par un certain nombre de galeries costresses. Au delà de ce massif, on branche sur chacune d'elles une série de chantiers, appartenant à l'un quelconque des types énumérés ci-dessus, dont le choix sera dicté par les circonstances particulières à chaque cas. Le déhouillement des massifs d'amont-pendage est en avance sur ceux d'aval, ordinairement d'une largeur d'atelier. Les niveaux servent à rouler jusqu'à la tête de l'ouvrage le remblai descendu par le haut du plan incliné, et, d'autre part, les charbons, depuis le pied du chantier jusqu'au plan, sur lequel ils descendent à la voie de fond.

Ces niveaux sont ménagés dans les remblais, au fur et à mesure de la progression de l'appareil ; on les allonge d'une largeur de chantier, toutes les fois qu'un atelier étant achevé, il s'agit d'en brancher un nouveau. On voit donc qu'il n'y a dans ce système, à proprement parler, aucun traçage. Dans le cas où, le gîte étant mal réglé, on pousserait à une certaine distance ces costresses en reconnaissance, elles figureraient, même alors, plutôt à titre de recherches que de traçage, le développement de l'exploitation ne nécessitant pas, par lui-même, cette extension.

Il arrive fréquemment que l'on respecte, pendant toute la durée de l'étage, le pilier long du haut et celui du bas, pour mieux protéger les mères-galeries du charbon et du remblai, et, en même temps, pour constituer ce quartier à l'état de panneau, circonscrit entre des massifs isolants. Ces derniers sont repris à la fin, au moment d'abandonner le quartier.

461 — *Mode rétrograde.* — Quand on trouve trop d'inconvénients à ménager dans le remblai les voies de roulage, en raison des réparations qu'elles entraînent, et des pertes d'air dont elles sont l'occasion, on les trace en plein massif, en se portant de suite aux limites du champ d'exploitation, comme dans les méthodes de fou-

[1] Employé à la Buchne (Aubin), à la Grand'Combe, et dans une grande partie du bassin de la Ruhr. La largeur des piliers varie en Westphalie de 5 à 12 mètres ; celle des tailles de 2 à 10 mètres, suivant la nature du toit et du mur, la puissance, les intercalations.

droyage (fig, 324), puis on bat en retraite, en dépilant ces piliers longs à l'aide de chambres remblayées. Les galeries vont alors toujours en se raccourcissant par les progrès du déhouillement, au lieu de s'allonger progressivement, comme dans le cas précédent. Ce second système est moins employé que le précédent.

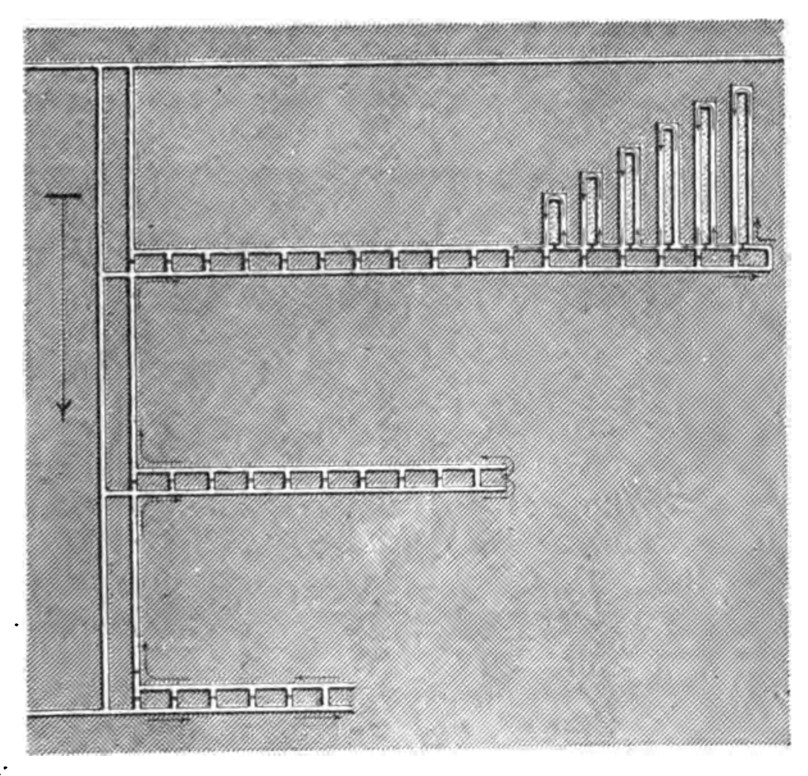


Fig. 325. Méthode des chambres. Dépilage avec piliers longs repris. Couche Heinrich (Gerhardt-Grube, Sarre). (Coupe par le plan du gîte.)

462 — *Dépilage avec piliers repris.* — Dans les explications précédentes, nous supposons les chantiers contigus et ouverts consécutivement, sans qu'on laisse entre eux aucun intervalle. C'est le cas le plus simple (¹). Depuis quelque temps, on a développé sur de

(¹) Il se voit au Treuil (Saint-Étienne), à Mariemont (couche Nickel), à la mine d'anthracite de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne).

grandes dimensions les diagrammes précédents. Le chantier élémentaire prend d'après cela lui-même plus d'importance. On ouvre alors ces chambres de deux en deux largeurs (fig. 325), et l'intervalle qui sépare chaque taille de la suivante est pris en rétrogradant vers la costresse, une fois que cet atelier est arrivé au massif de protection laissé à l'aval-pendage du niveau supérieur, pour être enlevé quand on abandonne cette costresse (¹).

Ce dépilage en retour comporte lui-même deux types distincts, suivant qu'on le conduit suivant la pente, comme on vient de le faire

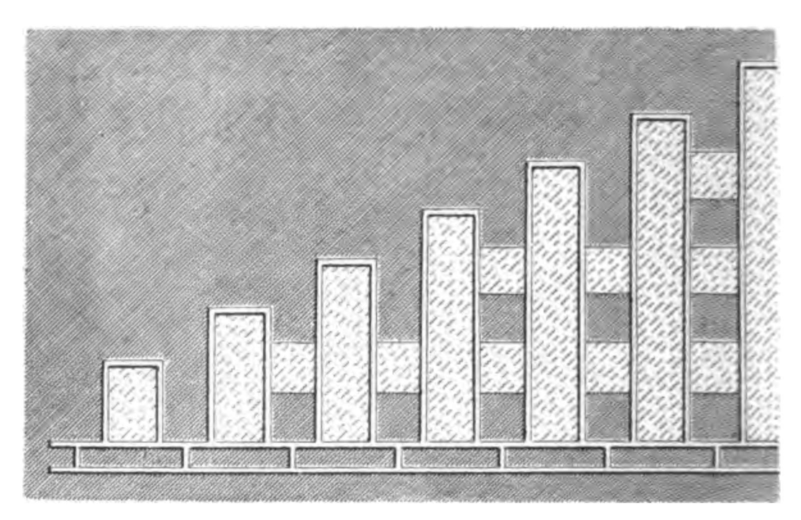


Fig. 326. Méthode des chambres. Dépilage avec piliers repris en échiquier. (Coupe par le plan du gîte.)

pour l'ouvrage direct, ou que l'on partage l'entre-deux en petites enlevures suivant la direction, que l'on prend consécutivement en chassant. Cette dernière conception réalise, comme on le voit, à deux degrés successifs, la notion de la division en chambres distinctes : d'abord pour dépiler le massif long parallèle à la direction, au moyen de chantiers disposés suivant la pente, puis pour déhouiller les piliers longs que l'on vient de réserver en inclinaison, au moyen de chambres ouvertes en direction (²).

(¹) Comme à Aberaman (South-Wales), Pemberton ; Sagor (Styrie).

(²) Ce dernier système se rencontre à Heinitz et Gerhardt-Grube (Sarre). On l'emploie

463 — Il existe enfin une troisième variante (fig. 326), dans laquelle le pilier long n'est réservé qu'en partie. On le découpe comme une bande d'échiquier, en y déhouillant et remblayant les cases de deux en deux, et conservant les autres pour être enlevées ultérieurement. Ce dispositif compliqué se justifie par deux motifs distincts.

C'est, en premier lieu [1], pour se procurer plus de surface à remblayer, que ne pourrait en offrir la foncée directe, quand on se trouve encombré par les déblais fournis par le coupage des voies latérales, que l'on y ménage sur les deux flancs pour la circulation de l'air et des véhicules.

C'est, en outre, pour que le toit se trouve mieux soutenu que par le remblai seul, afin de retarder le plus possible sa dislocation, si l'on craint l'invasion des eaux supérieures [2]. De cette manière, on ne s'en trouve gêné que pendant la période, relativement courte, consacrée à l'enlèvement de tous les piliers tournés, au moment d'abandonner définitivement le district.

§ 2

MÉTHODE DES GRANDES TAILLES

464 — *Base d'opérations*. — La méthode des grandes tailles est, sous le rapport géométrique, analogue à celle du longwall working outwards [3]; seulement le remblayage y remplace la chute du toit. Elle consiste encore (fig. 301) à brancher consécutivement de grandes tailles, sur une artère fondamentale qui progresse en avant de la première, à une distance suffisante pour éclairer la marche.

également pour le déhouillement des tranches horizontales de Saint-Éloy (Puy-de-Dôme).

[1] Comme à Molières (Gard).

[2] Comme à la mine de lignite de Castellane (Gréasque, Bouches-du-Rhône), dans laquelle l'eau des *mouillères* crée une complication sérieuse.

[3] De même que la méthode normale des chambres reproduit géométriquement le diagramme de celle des massifs longs; et celles de Molières et de Gréasque (n° 463), la méthode des massifs courts; avec cette même différence que le foudroyage y est remplacé, dans le dépilage, par l'emploi du remblai.

Bien que l'on puisse encore, comme dans le longwall, établir cette base d'opérations en perçant deux galeries jumelles dans le massif, on emploie ordinairement, pour les méthodes de remblayage, un procédé différent. On conduit alors une taille unique, en coupant le toit ou le mur, s'il est nécessaire, de manière à se procurer la hauteur nécessaire pour le passage des chevaux. On utilise les matériaux ainsi obtenus, pour partager cette taille en deux voies distinctes, à l'aide d'un mur en pierres sèches dressé suivant son axe. Les terres sont pelletées entre ses deux parements, de manière à le rendre aussi étanche que possible pour l'air. Ces deux travées jouent alors le rôle des galeries jumelles. Le courant arrive par l'une, passe à l'avancement, et revient par l'autre jusqu'à la première grande taille, dans laquelle une porte d'aérage, barrant la galerie de retour, le force à s'engager pour lécher tous les décrochements du front de taille.

La largeur l à donner à ce chantier d'avancement, se trouve déterminée d'une manière précise, par la condition de loger exactement son remblai, tout en conservant pour les deux voies les largeurs λ, λ', exigées par les conditions du roulage et de la ventilation. Supposons, en effet, que, si l'on étalait à terre, sur toute la superficie, le stérile *foisonné* que fournissent le coupage de la roche et les lits stériles intercalés, il occupât une fraction $\frac{1}{m}$ de la hauteur de la taille. Si nous raisonnons pour un mètre de hauteur, la surface l de front de taille, diminuée de la somme $\lambda + \lambda'$ des vides que l'on a ménagés, doit être occupée par le remblai $\frac{l}{m}$, fourni par le percement. On a donc l'équation :

$$l - (\lambda + \lambda') = \frac{l}{m},$$

d'où l'on déduit :

$$l = \frac{m}{m-1}\ \lambda + \lambda').$$

La méthode des grandes tailles peut être appliquée d'après trois

modes différents, selon que la base d'opérations est ouverte suivant la direction, l'inclinaison, ou une demi-pente quelconque. Les tailles elles-mêmes sont *montantes*, *chassantes* ou *diagonales*.

465 — *Grandes tailles montantes.* — Dès que la base d'opérations s'est accrue d'une largeur d'atelier, au delà du degré d'avance que l'on veut lui conserver pour éclairer la marche, on ouvre, sur son flanc, une nouvelle grande taille à la suite de la dernière, et l'on reporte à ce point la porte d'aérage, destinée à forcer l'air de s'engager dans ce nouveau décrochement. Le remblai suit le front de taille (fig. 301), et l'on y ménage une voie montante pour la desserte du chantier. Si la pente l'exige, ce montage sera armé de manière à constituer un plan incliné automoteur.

Souvent le front de taille, au lieu d'être tracé rigoureusement suivant une ligne droite horizontale, forme les côtés d'un angle très obtus, dont les parois convergent légèrement, des extrémités de la taille vers son plan incliné. C'est en vue de faciliter le *boutage* du charbon dans ce plan, en donnant une légère inclinaison à la voie de desserte qui longe le front de taille.

Lorsque le déhouillement s'éloigne trop de la base d'opérations, on peut se trouver surchargé par l'entretien des voies montantes qui s'allongent outre mesure. On se procure alors une base auxiliaire, en ménageant dans la pose du remblai, à une distance convenable de l'artère fondamentale, une galerie en direction, ou *cross-gate*, qui recoupe toutes les voies montantes. Puis on abandonne, en les remblayant, tous les tronçons de ces dernières, compris entre les deux voies de niveau, à l'exception d'un petit nombre, que l'on conserve pour évacuer dans la voie de fond les charbons qui se réunissent dans le cross-gate [1].

466 — *Grandes tailles diagonales* — Les tailles diagonales, ou en demi-pente (fig. 327), rarement employées, ont pour but d'uti-

[1] La méthode montante est employée dans les mines d'Aniche, Annœulin (Nord), Ferfay, Hénin-Liétard (Pas-de-Calais), et un grand nombre d'autres exploitations du bassin franco-belge ; à Epinac, à Molières ; au puits Wendel (Styring), à Albertschacht (Sarrebrück), à Llanelly (Tunnel-Colliery, South-Wales).

liser pour l'abatage la feuille du charbon, qui n'a aucune relation nécessaire avec la direction et l'inclinaison. Elles permettent également de contrarier le sens de la fissilité du toit, ou des filières qui le traversent, et qui pourraient se trouver dans une situation fâcheuse ponr la solidité des chantiers. Elles ont, enfin, l'avantage de débarrasser le chantier des eaux, au moyen d'une certaine pente, sans que l'on soit forcé pour cela de lui donner tout le pendage de

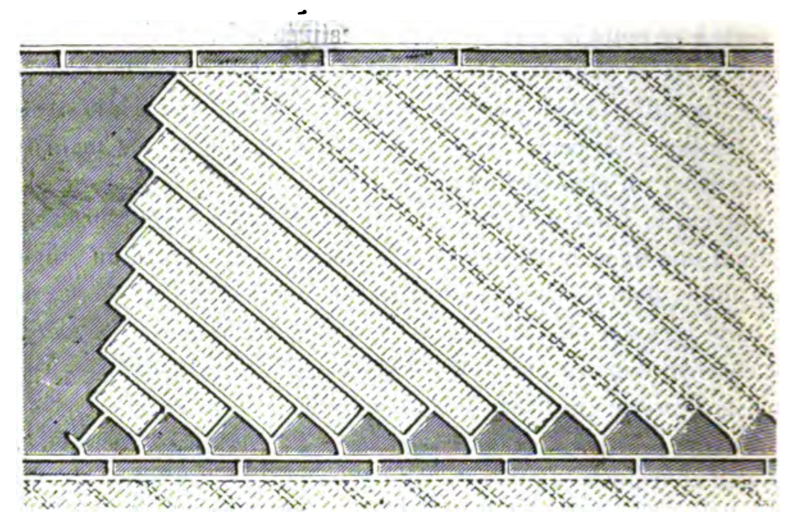


Fig. 327. Méthode des grandes tailles diagonales (coupe par le plan du gîte).

la couche, quand il est assez prononcé pour gêner le roulage ou obliger d'armer les voies en forme de plan automoteur.

En revanche, ce système présente cet inconvénient, que la moindre modification dans le plongement du gîte oblige, pour conserver la même pente de roulage, à changer l'angle des galeries avec la ligne de plus grande pente, et, par suite, à déranger tout le parallélisme des tailles (¹).

(¹) La méthode diagonale est employée dans certaines parties des houillères de Bessèges et de Molières (Marsaut, *Bull. min.*, Iʳᵉ, V ; 2ᵉ, V).

On en trouve, en outre, un exemple remarquable dans l'exploitation des *schistes bitumineux du Mansfeld*, appelés aussi Kupferschieferflötz. Cette formation célèbre est située à la base du Zechstein, et constitue une couche régulière d'environ 500 kilomè-

467 — *Grandes tailles chassantes* — Dans la méthode chassante, le base d'opérations est ordinairement rectangulaire sur les tailles, c'est-à-dire disposée suivant la ligne de plus grande pente (fig. 329, 330, 331). Cependant on cherche parfois à éviter de

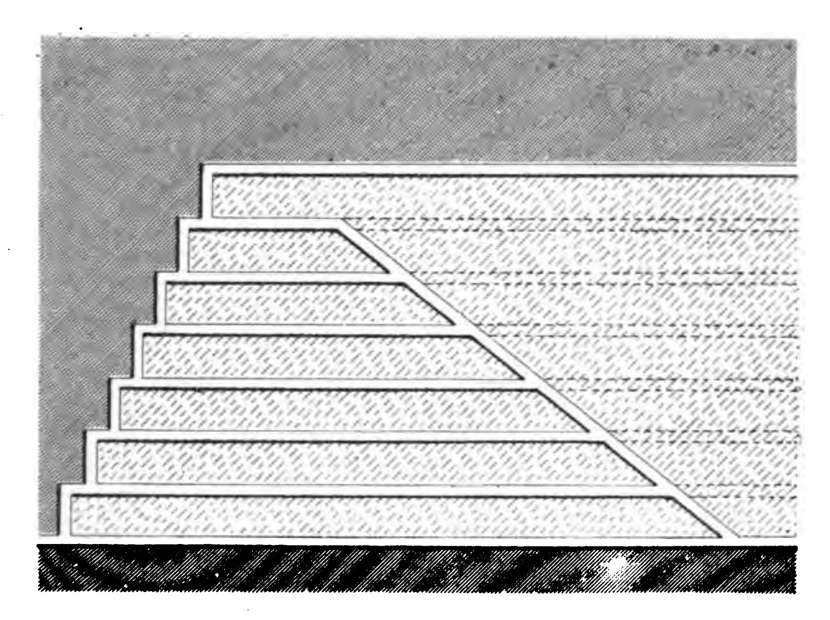


Fig. 328. Méthode des grandes tailles chassantes avec voies thiornes (coupe par le plan du gîte).

l'armer sous forme de plan automoteur en l'établissant en demi-pente (fig.328), pour descendre les véhicules, avec le roulage simple

tres carrés, en forme de bassin relevé sur les bords. La teneur est en général de 2 à 3 pour 100 de cuivre, avec 5 kilogrammes d'argent à la tonne. Cependant on exploite encore, lorsque la richesse s'abaisse jusqu'à 1 pour 100. La mine est ouverte depuis l'année 1199, et l'on est parvenu actuellement à la profondeur de 250 mètres. La puissance est seulement de $0^m,30$. Au mur, on trouve un havrit stérile de $0^m,10$. Le toit est solide. On entaille donc le mur de $0^m,20$ sur toute son étendue, pour donner aux tailles un minimum indispensable de $0^m,60$. Les hommes, au nombre de 20 par taille de 60 mètres, travaillent à col tordu (fig. 123), couchés sur le côté, avec une planchette fixée à la cuisse gauche, et une autre, mobile, pour appuyer l'épaule gauche. J'indiquerai plus loin (nº 623, note) comment le roulage est effectué par de petits herscheurs, qui rampent jusqu'aux galeries de chevaux. Ces dernières ont 2 mètres de hauteur, et sont conduites en voies jumelles.

et sans câble, jusqu'à la voie-de-fond qui les conduit à l'accrochage [1].

Dans un cas comme dans l'autre, lorsque le front de taille s'éloigne d'une manière excessive, on supprime d'un seul coup l'entretien de toutes les costresses, en ménageant dans la pose du remblai une nouvelle voie thierne, ou l'emplacement d'un autre plan incliné, sur lequel on transporte le mécanisme du précédent.

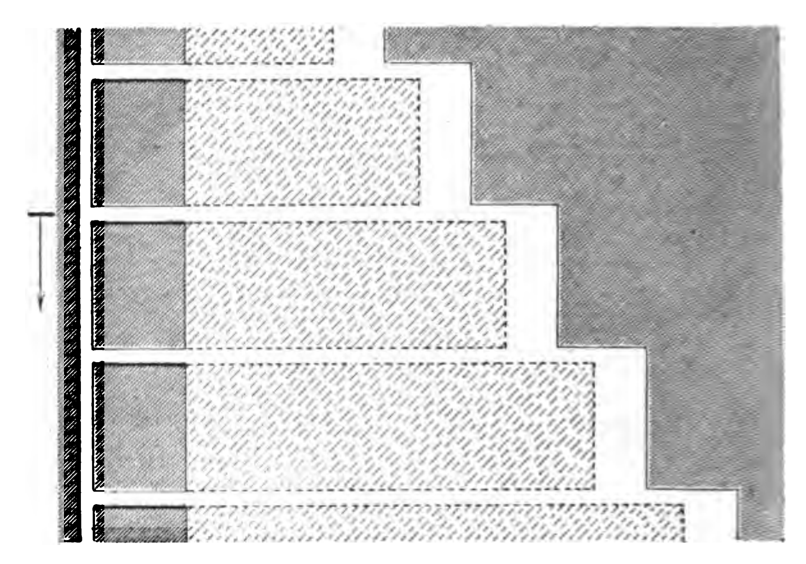


Fig. 329. Méthode des grandes tailles chassantes, type direct (coupe par le plan du gîte).

La méthode chassante comporte d'ailleurs, quant à l'aménagement des fronts de taille, deux variantes essentielles, suivant que la couche est en plateure ou très notablement redressée, auquel cas elle donne lieu à un dispositif caractéristique, qui prend le nom de *maintenages*.

[1] Parfois même on multiplie systématiquement ces diagonales, de manière que chaque grande taille soit desservie par une voie thierne spéciale, à l'extrémité de la costresse qui lui correspond. Ces types sont assez employés dans le bassin franco-belge, quoique du reste en voie de diminution. Callon réagit contre cet emploi des demi-pentes (*Cours d'exploitation*, I, 389), et leur préfère nettement les plans inclinés.

La première variante, relative aux parties plateuses, peut être

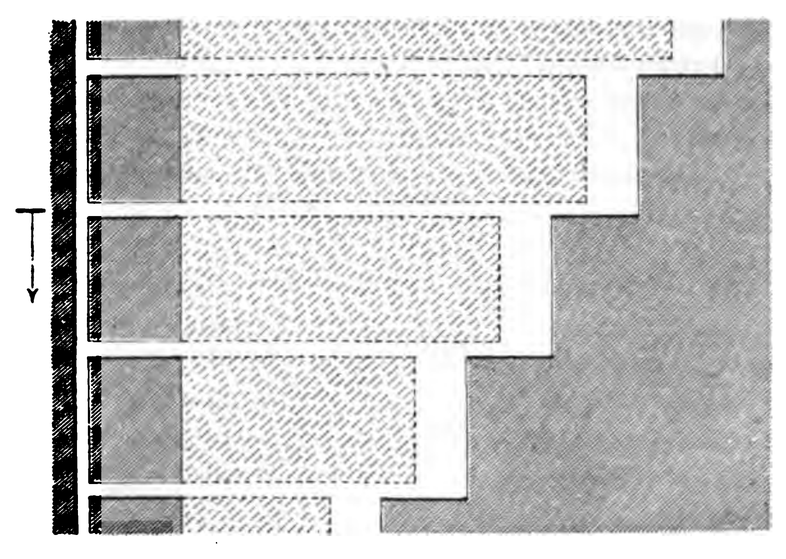


Fig. 330. Méthode des grandes tailles chassantes, type inverse (coupe par le plan du gîte).

elle-même conduite suivant trois types distincts.

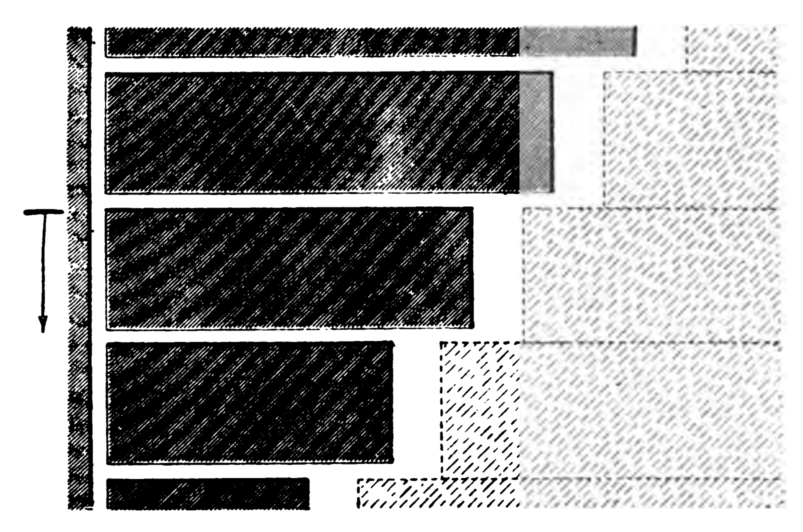


Fig. 331. Méthode des grandes tailles chassantes, type rétrograde (coupe par le plan du gîte).

468 — 1° *Type direct.* — On laisse sur le flanc du plan incliné (fig. 329) un massif de protection, que l'on se borne à percer par les voies costresses ouvertes à des niveaux successifs. Lorsque l'une de ces galeries a franchi l'épaisseur réservée, on y branche un montage, sur toute la relevée qui la sépare de la voie supérieure, puis on prend la paroi de cet ouvrage pour front de taille, que l'on conduit en chassant. Les tailles basses étant les plus anciennes, sont en même temps les plus longues (¹).

469 — 2° *Type inverse* — Dans un second type, qui est fort peu répandu, l'on commence par monter le plan incliné jusqu'au sommet de l'étage avant d'ouvrir aucune taille (fig. 330), et c'est à partir du haut qu'on les branche successivement derrière le massif de protection, de la manière qui vient d'être expliquée. C'est donc à l'amont-pendage que se trouveront alors les plus longues tailles.

Ce système a pour but, en supposant que l'on ne se trouve pas pressé pour la mise en activité du quartier, de terminer les tailles supérieures les premières, afin de pouvoir alors supprimer les tronçons correspondants du plan incliné, ainsi que leurs frais d'entretien ; tandis que, si l'on finit par le haut, la totalité du plan reste nécessaire jusqu'au dernier moment, pour desservir cette partie (²).

470 — 3° *Type rétrograde.* — Les deux appareils précédents offrent l'avantage d'être sans traçage, mais avec l'inconvénient corrélatif, d'obliger à entretenir des voies de communication au milieu des remblais. Lorsque les circonstances rendent cet assujettissement particulièrement fâcheux, on commence (fig. 331) par tracer les costresses dans le ferme, non plus seulement à travers

(¹) On rencontre ce type principal de la méthode des grandes tailles chassantes, dans les carrières de basse masse des environs de Paris, dans les houillères d'Anzin, la Béraudière (Couche des Littes), Courrières (Pas-de-Calais), Ferfay, Villars (Loire): Le Hasard; Albertschacht, Styring, Lhôpital (Sarre-et-Moselle); les mines de fer d'Hayange (Lorraine); les calcaires argileux plombifères de Tarnowitz (Silésie).

(²) Cette méthode est appliquée dans la mine Simon, à Graissessac (Quatre-mines-réunies).

le massif de protection, mais jusqu'aux limites du quartier. C'est là que l'on branche sur chacune d'elles un montage, dont le flanc est pris pour front d'une taille chassante, qui procède en retraite. De cette manière, la longueur des costresses va toujours en diminuant pendant l'exploitation, à l'inverse de ce qui a lieu dans les deux cas précédents ([1]).

On remarquera l'analogie de cette modification avec celle qui sépare le longwall working home du longwall working outwards (n° 430, fig. 302).

471 — *Maintenages.* — Dans les trois types qui constituent la variante précédente du mode chassant, le front de taille reste disposé suivant une ligne droite de plus grande pente. Ce dispositif deviendrait impraticable, quand le gîte se redresse d'une manière très prononcée. Si, en effet, nous nous figurons comme très rapproché de la verticale, le plan de la figure 329 (qui était tout à l'heure à peu près horizontal), au lieu de nous représenter des hommes debout, dans des attitudes perpendiculaires à ce plan, nous serons forcé de les installer l'un au-dessus de l'autre, à l'aide de planchers. Outre les inconvénients d'une telle complication, et du peu de solidité de cet échafaudage, on exposerait ainsi les piqueurs à un danger sérieux, résultant de la chute de fragments à travers les planchers.

Le remède à cette difficulté se trouve dans l'emploi des maintenages, ou gradins couchés, que nous avons déjà rencontrés dans une circonstance analogue (n° 425, fig. 296). En disposant le front de taille en gradins renversés, on a pour résultat de loger chaque homme en avant du piqueur qui lui est supérieur, et de le mettre en sûreté, sous le gradin attaqué par ce dernier. Si la chute de quelques fragments vient à se produire, elle aura lieu en arrière de l'ouvrier, et sans compromettre sa sécurité ([2]).

([1]) Cette méthode est appliquée dans certains quartiers de la Grand'Combe.

([2]) On voit des maintenages à Anzin, à Fléchinelles (Pas-de-Calais), et généralement dans tous les dressants du Nord de la France et de la Belgique : au Gouffre, au Grand-Hornu, à Bois-d'Avray, à la Nouvelle-Marihaye, etc. ; en Saxe : à Ebersdorf, Buthelsdorf, etc.

Ce principe présente à la vérité l'inconvénient de la production de nombreux nids de grisou, qu'il est difficile de faire laver complètement par le courant d'air. Nous n'avions pas insisté sur ce point lors de la première rencontre des maintenages (n° 425), attendu que les méthodes de foudroyage sont, autant que possible, à écarter des gîtes grisouteux; mais le principe du remblayage leur est au contraire directement destiné.

L'emploi des maintenages peut varier dans l'application suivant trois types distincts.

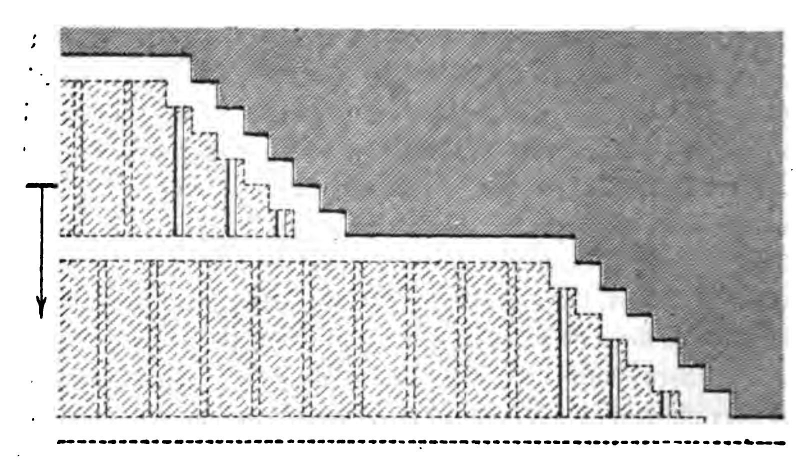


Fig. 332. Maintenages avec gradins (coupe par le plan du dressant).

472 — 1° *Remblai en gradins.* — Dans le plus ancien (fig. 332), le remblai se trouve disposé en gradins droits, en regard des gradins renversés que présente le combustible. Pour la descente du charbon, on ménage à travers ce remblai, des cheminées qui vont en s'accroissant par la partie supérieure, au fur et à mesure de la montée du remblai, au moment où la marche en avant d'un gradin vient à les dépasser. Lorsque la cheminée atteint le sommet du massif de stérile d'un sous-étage, elle demeure sans objet. On la remblaye, et, en même temps, on en ouvre une nouvelle au pied du maintenage, en avant de la dernière.

473 — 2° *Remblai en talus.* — La multiplication de ces che-

minées occasionne une complication, une dépense de bois et un manque de solidité, qui exercent sur la méthode une influence fâcheuse. On a imaginé pour y obvier (fig. 333) de disposer la plus

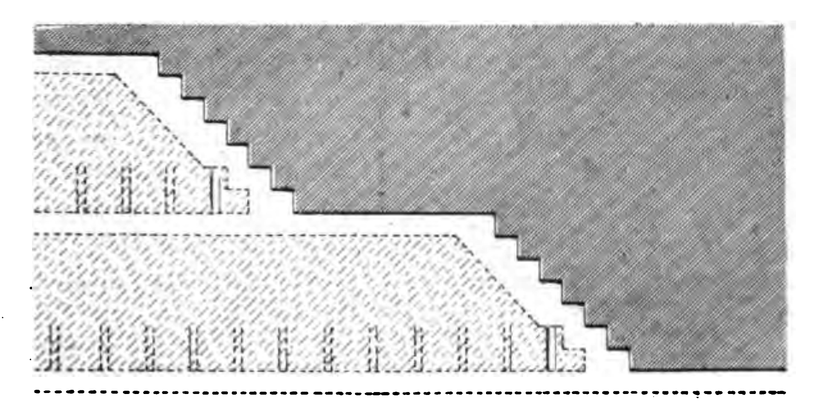


Fig. 333. Maintenages avec talus (coupe par le plan du dressant).

grande partie du remblai en talus. Le charbon roule alors jusqu'au pied de cette pente, où il trouve une cheminée très courte, qui sert à le charger dans les wagonnets de la voie-de-fond.

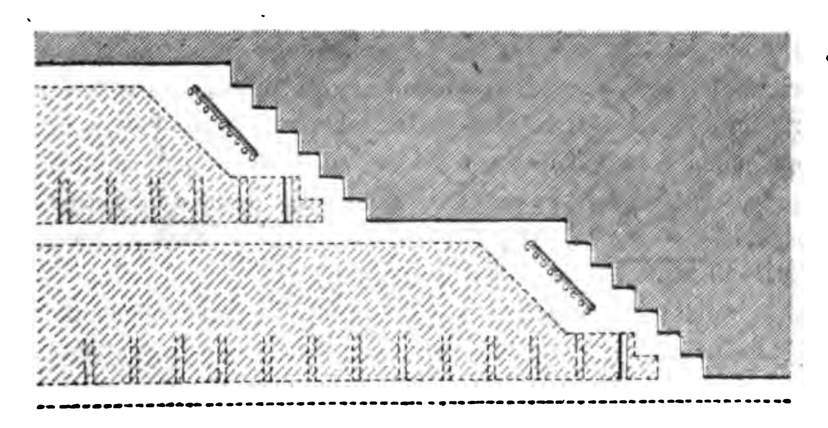


Fig. 334. Maintenages avec plancher (coupe par le plan du dressant).

474 — 3° *Remblai avec plancher.* — Cette solution présente encore l'inconvénient de salir le combustible, qui entraîne avec

lui des terres, en même temps que les menus peuvent se perdre dans le remblai. M. Godin a imaginé [1], sous l'empire de cette préoccupation, de recevoir le charbon sur un plancher, où se tiennent les piqueurs (fig. 334). Les deux défauts précédents disparaissent par cela seul. En même temps, comme le remblayage se fait sous ce plancher, les deux services peuvent être effectués simultanément, tandis qu'ordinairement on ne *bascule* les remblais que pendant la nuit, en distinguant la *coupe à terre* de la *coupe à charbon*.

Ce système présente, à la vérité, l'inconvénient d'entrainer certains frais pour le boisage, et son transport incessant, parallèlement à lui-même, afin de suivre l'avancement. Néanmoins, l'auteur du système annonce une réduction d'un tiers environ sur les dépenses.

§ 3

DISCUSSION DES VARIANTES DE LA MÉTHODE DES GRANDES TAILLES

475 — *Caractères communs.* — Il est essentiel d'étudier avec un grand soin l'espacement à maintenir entre les voies de roulage. En effet, le coupage de ces voies dans le toit ou dans le mur produit un supplément de remblai, qui doit se répartir exactement dans la région afférente à cette portion du réseau, en s'y ajoutant à celui que donne à pied d'œuvre le déhouillement lui-même. On doit se proposer, pour but, autant que possible, de ne sortir ni rentrer de remblai, et de ne le déplacer à l'intérieur que dans la mesure strictement inévitable.

La dimension des tailles, très restreinte habituellement en France, où elle s'abaisse jusqu'à une dizaine de mètres, atteint en Angleterre 100 et 150 mètres. Cette ampleur présente l'avantage de rendre la surveillance plus facile, d'obliger les hommes à progresser du même train, de placer l'abatage dans des conditions

[1] Dans les chantiers de l'Espérance, à Seraing (*Annales des trav. pub. de Belgique*, XXXIII, 379).

plus faciles, d'offrir les seules conditions où le havage mécanique présente quelques chances de succès, de faciliter le boutage du charbon, en permettant d'établir parallèlement au front de taille un chemin de fer, que l'on *ripe* latéralement, pour lui faire suivre l'avancement.

Le degré de condensation du personnel le long de ces fronts dépend de certaines habitudes. En France, on met en général un piqueur par 4 ou 5 mètres, en lui attribuant cet espace pour qu'il se trouve plus à l'aise et produise d'autant plus. En Belgique, on est plutôt porté à réduire cette largeur à 2^{m},50 ou 3^{m},00, afin de réaliser un avancement plus rapide, d'avoir, par conséquent, des chantiers moins durables, et de faciliter la surveillance, en diminuant en outre les frais d'entretien. Si le rendement du piqueur s'en trouve affaibli, on économise d'autre part sur le personnel du boisage, de la surveillance, et des services accessoires.

476 — *Avantages de la méthode montante sur la méthode chassante.* — Si le plan incliné, qui est unique pour la méthode chassante, vient à subir une avarie, tout le transport se trouve arrêté, les piqueurs ne peuvent plus reculer leur charbon, et les herscheurs restent sans ouvrage. Au contraire, avec la méthode montante, le plan incliné qui se dérange ne dessert qu'une seule taille, et le trouble apporté dans l'ensemble est moins profond. Il est vrai que les chances d'accident augmentent avec le nombre des plans automoteurs; toutefois il est préférable de s'exposer à des irrégularités plus nombreuses, mais relativement peu importantes, plutôt qu'à paralyser tout le service.

Si la couche est assez mince pour obliger à couper le toit ou le mur le long des voies, le banc, ainsi entaillé au pied par les costresses de la méthode chassante, a tendance à glisser dans le vide; tandis qu'en le coupant suivant la ligne de plus grande pente, avec la méthode montante, on ne détermine ainsi aucune tendance à un déplacement latéral.

La desserte du front de taille en inclinaison, dans l'ouvrage chassant, est moins commode que celle du front horizontal de la méthode montante, qui se prête à l'établissement d'un chemin de

fer à pente douce, arbitrairement déterminée par une légère déviation sur la direction.

477 — *Avantages de la méthode chassante sur la méthode montante.* — Si l'inclinaison est marquée, les voies montantes doivent être armées du matériel des plans automoteurs. De là, une dépense importante et une complication du service.

Aux abords d'un *crochon*, c'est-à-dire d'une inflexion de la couche, la section horizontale cesse d'être rectiligne, et se dévie en courbe ou en ligne brisée (fig. 335). Les normales ne sont donc plus des droites parallèles. Les tailles montantes comprises entre elles iraient en s'épanouissant, et il en résulterait, entre autres

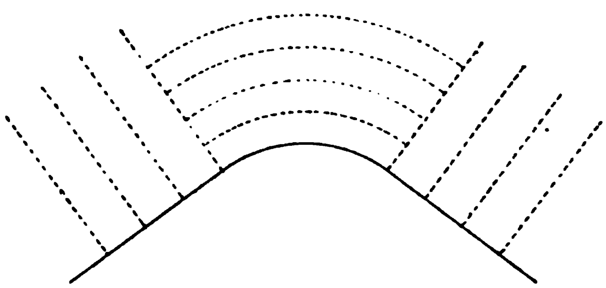


Fig. 335. Passage d'un crochon.

irrégularités, l'altération de l'équilibre qu'il est si important de conserver (n° 475) entre la hauteur des voies et leur espacement. En effet, la première resterait égale, tandis que la largeur deviendrait variable. Pour ce motif, les exploitants qui emploient la méthode montante, passent les crochons en tailles chassantes, au moyen de courbes parallèles qui gardent entre elles un intervalle constant.

Dans les gîtes grisouteux, le gaz qui sort du massif mis à nu glissera rapidement, en raison de sa légèreté spécifique, le long des fronts en inclinaison de la méthode chassante, tandis qu'il aura tendance à stationner sur les fronts horizontaux de l'ouvrage montant. Ce dernier système placera donc dans le milieu le plus vicié, les feux, les coups de mines, les chances d'infraction des hommes

aux règlements qui prohibent l'usage des allumettes ou le dévissage des lampes. Aussi n'applique-t-on jamais la méthode montante dans les gîtes grisouteux.

Lorsque la couche se redresse, le charbon a tendance à glisser sur le mur dans les chantiers montants, en cas de manque d'adhérence, et à écraser les hommes contre le remblai. En outre, lors même que la veine serait bien adhérente au mur, les fragments abattus roulent dans les jambes des ouvriers, et peuvent déterminer des accidents. Enfin, le charbon va s'accumuler le long du remblai; il s'y salit, il peut s'y perdre. Tous ces défauts disparaissent avec la méthode chassante, qui reste seule admissible dans les parties redressées, en prenant, quand cela devient nécessaire, la forme des maintenages.

§ 4

MÉTHODE DES GRADINS

478 — *Gradins renversés.* — Si la couche est absolument raide, ou s'il s'agit d'un filon métallique, qui joint d'ordinaire aux difficultés inhérentes à sa situation verticale, une certaine irrégularité de teneur, on conserve le principe des gradins, auquel nous venons d'être conduits en dernier lieu, mais, en même temps, on abandonne le caractère fondamental d'ampleur et d'unité qui caractérise l'appareil des grandes tailles, et sur lequel j'ai insisté plus haut (n° 455). On revient, au contraire, à un traçage préalable sous forme de lopins, qui permette de mieux connaître le gîte au préalable, et de multiplier, d'une manière plus arbitraire, les points d'attaque.

L'appareil ainsi modifié prendra le nom de méthode des gradins. Il peut être appliqué suivant deux modes fondamentaux : le mode des *gradins renversés*, ou celui des *gradins droits*.

Le mode des gradins renversés comporte lui-même quatre variantes distinctes, que nous allons passer en revue [1].

[1] On rencontre la méthode des gradins renversés dans les divers charbonnages de

479 — 1° *Ouvrage simple.* — On attaque le lopin par l'un de ses deux angles inférieurs (fig. 336). On déboise le montage sur une

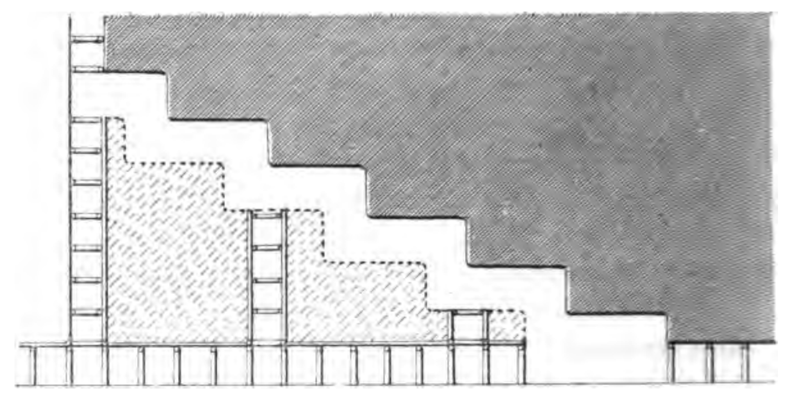


Fig. 336. Méthode des gradins renversés, ouvrage simple (coupe par le plan du filon).

hauteur de chantier, et, en s'échafaudant, on abat le massif en chassage, de manière à surexhausser la galerie. Lorsque cette taille

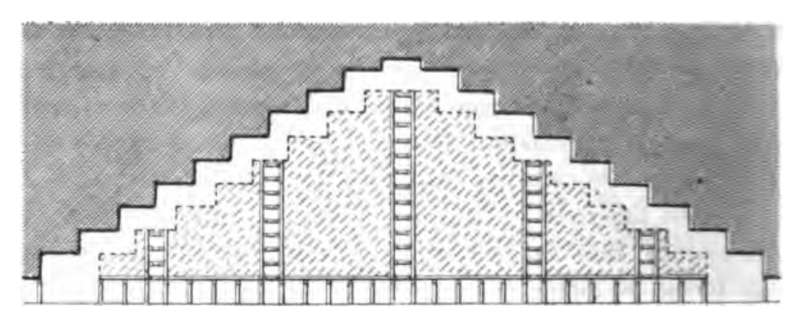


Fig. 337. Méthode des gradins renversés, ouvrage divergent (coupe par le plan du filon).

est suffisamment avancée, on déboise une nouvelle travée du mon-

Sablé (Sarthe), de Montigné et de l'Huisserie (Mayenne), de la Basse-Loire, d'Yvoz (Belgique), de Miérès, de la Mosquitera (Asturies), de Doman (Banat).

C'est la méthode classique des filons. On la voit en France : à Vialas, à la Baume (Villefranche d'Aveyron), à Pierrefitte (Hautes-Pyrénées), dans les parties minces de Sainbel (Rhône) ; en Suède : dans les mines de fer de Norberg, de Flintgrafvon à Dalkarlsberg ; en Angleterre : dans le Cornouailles ; en Allemagne : au Hartz, à

tage, et un second poste commence une seconde taille chassante sur une hauteur égale. On rétablit alors le boisage de la galerie, et l'on

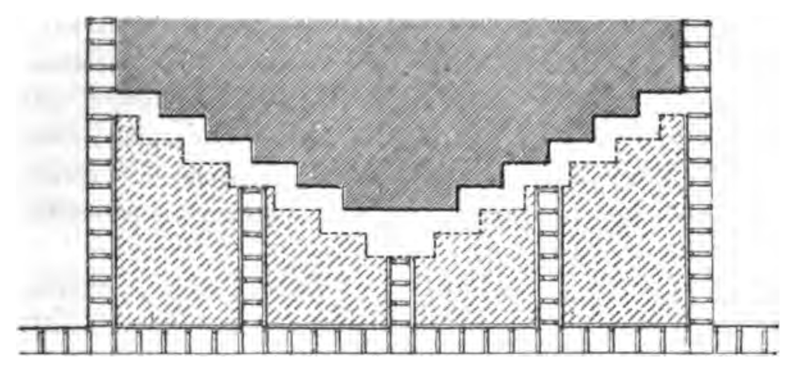


Fig. 338. Méthode des gradins renversés, ouvrage convergent (coupe par le plan du filon).

y entasse le stérile, qui forme un terre-plein pour la seconde équipe. Un troisième poste amorce bientôt une nouvelle travée sur le flanc

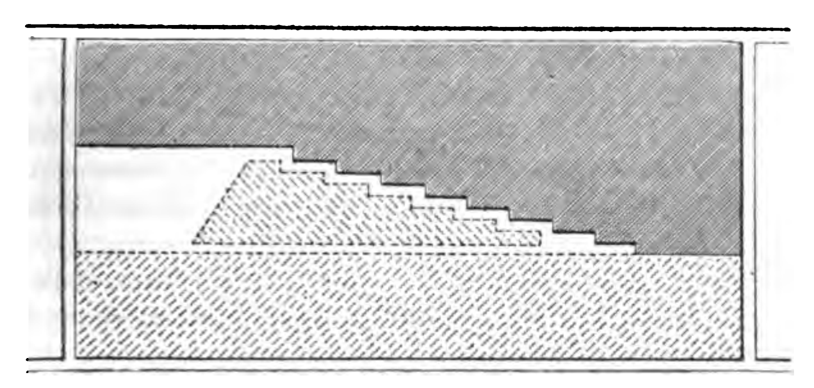


Fig. 339. Méthode des gradins renversés, ouvrage à double remblai (coupe par le plan du filon).

du montage, et s'avance à la suite des premiers. Le front de taille

Himmelsfurth (Saxe); en Autriche: à Schemnitz, au Bleyberg de Carinthie; en Espagne: à Linarès, à l'Horcajo, à Castuera, dans les phosphates de Cacérès; aux mines de Monteponi (Sardaigne); en Amérique : au Comstock, dans l'Austin, le Nevada, aux mines d'argent de Caracolès (Andes), dans les filons de tellurure d'or de Mountain Lion et Keystone (Colorado), à Summit Valley (Montana), etc.

dessine, d'après cela, dans son ensemble, une série de gradins renversés.

En même temps, le remblai le suit en gradins droits. Au fur et à mesure que ce massif avance, la première équipe d'ouvriers y ménage, à des distances convenables, l'amorce d'une cheminée. Tous les autres postes, quand ils y parviennent, exhaussent cette cheminée d'une travée de boisage, pour disposer leur remblai contre ses parois. Ces couloirs s'élèvent ainsi progressivement, et servent à bouter le minerai dans la voie de fond, où les trappes permettent de le débiter dans les wagonnets (n° 442).

Chaque gradin se termine, quand il perce dans le montage parallèle à celui qui a servi de point de départ. L'ouvrage entier s'achève par l'angle diamétralement opposé à celui de l'attaque.

480 — 2° *Ouvrage divergent.* — On aborde le lopin par un point intermédiaire du côté inférieur : son milieu, pour fixer les idées (fig. 337). Les mineurs défaitent la galerie, et, en s'échafaudant, amorcent un montage. Puis, prenant ses deux flancs pour fronts de taille, deux équipes s'avancent en direction, en se tournant réciproquement le dos. Quand elles sont suffisamment éloignées l'une de l'autre, on exhausse le montage d'une nouvelle travée, où s'installent, en divergeant, deux nouveaux postes, et ainsi de suite. On boise cette cheminée centrale, de manière à la conserver au milieu des remblais, et l'on en ménage d'autres, de distance en distance, comme dans le cas précédent [1].

Chaque gradin se termine sur les montages latéraux, et l'ensemble de l'ouvrage s'achève par les deux angles supérieurs du massif.

481 — 3° *Ouvrage convergent.* — On attaque le lopin à la fois par ses deux angles inférieurs (fig. 338), et l'on développe ainsi sur ses deux flancs, conformément à la description précédente (n° 479), deux ouvrages simples, qui marchent au-devant l'un de l'autre.

Les deux postes inférieurs finissent par se rencontrer au milieu

[1] On voit un bel exemple de cette méthode dans le filon de minerai de fer de Keymar (Aveyron).

de la base du lopin. A partir de ce moment, l'ensemble forme un atelier unique. On ménage suivant l'axe central une dernière cheminée, qui restera toujours la plus courte de toutes. Puis l'ouvrage se développe, avec un profil constant dans son ensemble, que l'on voit, par la pensée, s'élever parallèlement à lui-même vers la partie supérieure, en raison de l'avancement chassant de chacun des systèmes de gradins, qui viennent consécutivement se terminer sur l'axe central (1). L'ouvrage s'achève par le milieu du côté supérieur.

482 — *Ouvrage à double remblai.* — Il nous reste à envisager un dernier système, dont l'application doit rester limitée à des filons de matière précieuse et d'épontes solides (2).

Le lopin y est divisé en un certain nombre de bandes horizontales : trois par exemple, qui sont prises l'une après l'autre en ordre ascendant. La figure 339 montre la bande inférieure complètement terminée, celle du milieu en élaboration, et la zone supérieure encore inattaquée.

Chaque bande est dépecée en gradins renversés, avec toutes les circonstances qui constituent la description du premier type (n° 479), et, en outre, les détails suivants. On sort, dès le début, le plus riche, en laissant dans le chantier le plus pauvre ; mais sans attacher la même importance qu'à l'ordinaire, à ce triage, qui n'est que provisoire. Ce remblai temporaire sert à échafauder l'ouvrier et à maintenir les épontes, pendant la durée très longue de l'abatage. Lorsque le dépilage de cette zone tire à sa fin, on commence (en calculant d'après le rapport des vitesses, de telle sorte que les deux opérations se terminent ensemble) à enlever en masse, du côté de l'attaque, le remblai, que l'on sort en totalité, en le faisant couler en talus et l'évacuant par le pied du montage. Cette bande étant entièrement vidée, on la remplit d'un seul coup avec du remblai stérile, descendu du dehors par le haut du montage, et versé en talus sur toute

(1) On rencontre cette méthode aux mines d'anthracite de la Bazouge (Mayenne), de 15 à 20 mètres de puissance. Elle y est appelée *exploitation en cassis* (Dorlhac, *Bull., min.*, 1re, VII.)

(2) Cette méthode est employée à Przibram.

la hauteur du sous-étage, de manière à simplifier et activer cette opération. On arrive ainsi à tout retirer, en conservant en même temps les facilités du remblai immédiat, employé à pied d'œuvre, pour l'exécution de la taille.

483 — *Gradins droits.* — Le second mode d'application de la méthode des gradins procède encore par tailles chassantes, mais disposées en gradins droits. Le piqueur a, dans ce cas, le minerai

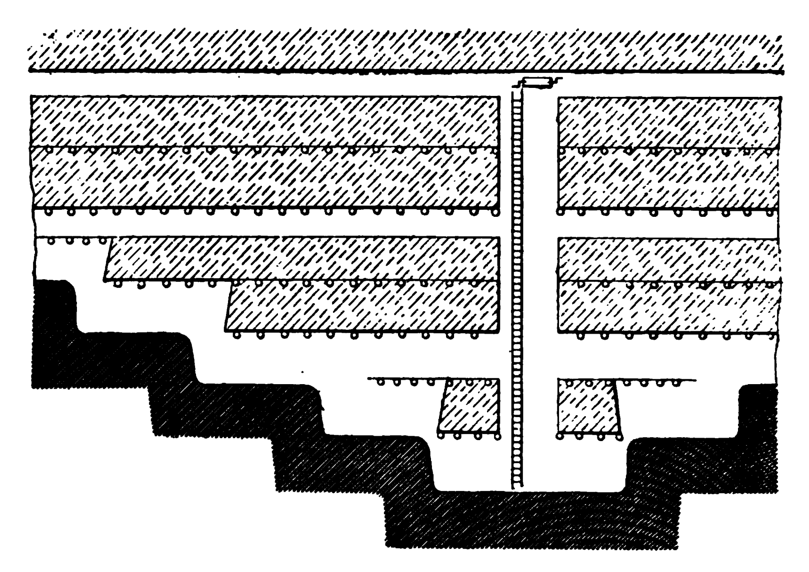


Fig. 340. Méthode des gradins droits (coupe par le plan du filon).

sous les pieds, au lieu de l'avoir sur la tête. Ce système comporte deux variantes distinctes [1].

1° *Ouvrage simple.* — On attaque le lopin par un de ses deux angles supérieurs. La figure 340, si on la réduit à l'une de ses moitiés, représente ce genre de chantier. On déboise successivement diverses travées de la descenderie, et l'on conduit des tailles chas-

[1] La méthode des gradins droits se voit dans les mines d'argent d'Andreasberg (Hartz), aux mines d'or d'Offenbanya (Hongrie), dans certaines parties des filons de Schemnitz, de Przibram.

santes, en avance les unes sur les autres. En arrière du front de taille, on dresse, à l'aide de rondins arc-boutés dans des potelles, des planchers, sur lesquels on entasse le stérile, en ménageant des passages pour atteindre la descenderie. Dans cette dernière, fonctionnent les câbles d'un treuil de manœuvre, pour la sortie des minerais.

Chaque gradin se termine, quand il perce dans la descenderie parallèle à la première. L'ouvrage prend fin par l'angle diamétralement opposé à celui qui a servi de point de départ.

484 — 2° *Ouvrage double.* — La seconde variante est représentée par la figure 340 prise dans son ensemble. On attaque le lopin en un point intermédiaire de son côté supérieur : le milieu par exemple. On y amorce une descenderie, et, de ses deux flancs, on fait partir deux systèmes de gradins droits, semblables au précédent, et se développant sur les deux côtés. Un treuil de manœuvre sert à élever jusqu'à la galerie supérieure les minerais et, en outre, les eaux qui, à l'inverse du cas précédent pour lequel elles trouvaient un écoulement naturel, tendent à s'accumuler dans le fond de cette exploitation *en vallée*.

§ 5

DISCUSSION DES VARIANTES DE LA MÉTHODE DES GRADINS

485 — *Caractères communs.* — Les deux méthodes des gradins droits et des gradins renversés partagent, avec celles des grandes tailles, l'avantage de ne faire porter le transport que sur la matière utile ; le remblai étant aussi peu remanié que possible.

L'abatage est facilité par la disposition en gradins assez courts. Le dépècement est rapide, car ces dispositifs permettent d'installer un grand nombre d'ouvriers, dont la condensation rend, en outre, la surveillance facile.

Il est nécessaire d'opérer le triage au marteau, afin de ne pas abandonner de minerai dans l'intérieur de morceaux volumineux,

dont l'aspect extérieur pourrait faire illusion. Il vaut beaucoup mieux, dans le doute, s'exposer à sortir du stérile, que de risquer d'abandonner une matière utile, qui a déjà supporté tous les frais de l'exploitation, et que l'on n'a plus qu'à recueillir.

486 — *Avantages des gradins droits sur les gradins renversés.* — Les hommes sont plus en sécurité pour l'abatage d'un minerai sans solidité, quand il est sous leurs pieds, que lorsqu'il forme le plafond des chantiers. L'emploi des gradins renversés devient décidément impossible dans les *filons pourris*.

L'abatage fait moins de menu avec des gradins droits, que lorsque la chute vient encore fragmenter le minerai, en brisant les parties friables. En outre, ces menus pulvérulents ne risquent pas d'être perdus, puisqu'ils reposent sur le massif, tandis que, dans l'autre méthode, ils sont exposés à filtrer dans les remblais. Ce déchet est d'autant plus regrettable que, comme nous venons de le faire remarquer, tous les frais sont déjà effectués en vue de recueillir ces matières, et, de plus, parce que certains minerais précieux, tels que l'argent rouge, sont particulièrement friables. Cette considération est même assez importante, pour faire exclure absolument la méthode des gradins renversés avec de telles substances. On a soin, quand on l'applique dans des filons de plomb argentifère, d'établir sur le remblai un plancher mobile, ou une sole en terre grasse. Ces soles sont ensuite enlevées, et considérées elles-mêmes comme minerai à laver.

La méthode des gradins droits obligeant à tout reprendre à la main, pour charger le minerai dans les véhicules et le stérile sur les planchers, vient remédier, le cas échéant, à la négligence de l'ouvrier, en lui facilitant l'inspection des fragments; tandis qu'une fois tombés sur le remblai, dans le système des gradins renversés, ils risquent d'y être abandonnés sans examen. Pour éviter cet inconvénient, on peut du moins exiger, dans cette dernière méthode, que le remblai soit empilé régulièrement, sous forme de parements en pierres sèches. On sera sûr, de cette manière, que tous les morceaux ont été remaniés.

487 — *Avantages des gradins renversés sur les gradins droits.* — Mais des motifs bien plus sérieux militent en faveur de l'emploi des gradins renversés.

D'abord, l'ouvrier ne gâte pas le minerai en piétinant dessus, comme dans l'appareil à gradins droits. Cette considération est surtout essentielle pour la houille.

L'abatage est facilité par la pesanteur, qui joint son action à celle des coins ou des pétards placés en couronne.

On doit considérer comme un défaut capital de l'ouvrage à gradins droits, l'énorme dépense de boisage à laquelle il donne lieu, et le peu de solidité de l'édifice de remblai, établi dans des conditions aussi précaires.

La méthode des gradins droits est nécessairement limitée aux gites minces, car il ne serait pas possible de se procurer la quantité nécessaire de bois de dimensions suffisantes pour un gite puissant, ni de les faire circuler dans les coudes des galeries, et dans les chantiers où ils doivent être manœuvrés. Au contraire, la méthode des gradins renversés s'étend très facilement aux filons puissants. Nous remarquerons même, qu'à ce titre, elle forme une transition naturelle entre ce chapitre et le suivant. Il suffit, pour lui donner cette extension (fig. 341), après avoir établi la voie de fond au mur, à la base de l'étage, de remblayer à plein sur la tête du massif inférieur, en ménageant, sur le mur, des cheminées, pour relier les divers gradins à cette mère-galerie. De cette manière, la puissance reste arbitraire, et l'on n'emploie le bois que dans une proportion très restreinte. On en sera quitte, dans l'enlèvement du massif inférieur, pour arriver sous ce remblai avec les précautions usitées en pareil cas (n° 446).

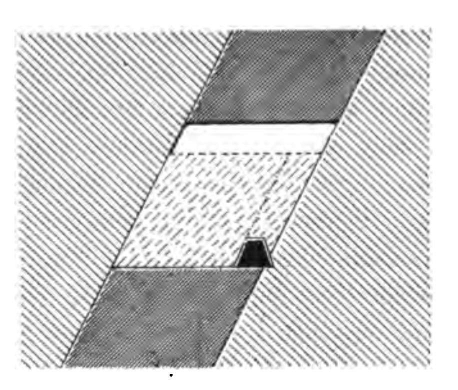


Fig. 341. Méthode des gradins renversés, gîtes puissants (coupe verticale en travers).

CHAPITRE XXII

MÉTHODES DE REMBLAYAGE — GITES PUISSANTS

—

§ 1

MÉTHODE INCLINÉE

488 — *Avantages et inconvénients.* — Il est nécessaire, pour acquérir une idée exacte de la méthode inclinée, de commencer par se reporter aux développements dont elle a été déjà l'objet, à l'occasion du foudroyage (n° 431) (¹). Nous n'avons qu'à leur ajouter ici les détails qui sont spéciaux au remblayage.

Les tassements s'accumulant de tranche en tranche, détermineront une fatigue extrême pour la région voisine du toit. On ne saurait donc dépasser, pour le nombre des tranches, une limite assez restreinte. L'emploi de cette méthode reste ainsi spécial aux gîtes modérément puissants, en même temps que modérément inclinés. Sous ce rapport, il convenait de la placer en première ligne, quand nous passons des gîtes minces aux grandes puissances. On excède rarement, pour la méthode inclinée, une traversée de 15 mètres et un plongement de 45 à 50 degrés (²). Le nombre des tranches ne doit pas croître au delà de 3 ou 4, 5 ou 6 tout au plus. On l'a vu porter, cependant, avec des conditions particulièrement favorables, jusqu'à 20 et 21.

(¹) La méthode inclinée avec remblayage est parfois appelée *méthode de Rive-de-Gier*, en même temps que le même dispositif appliqué au foudroyage prend le nom de *méthode de Blanzy*.

(²) De Villaine (*Bull. min.*, congrès de Saint-Étienne, 179).

La méthode inclinée facilite la mise en place des remblais. Il suffit, en effet, lorsque le pendage est suffisant, de les verser à partir du haut du sous-étage, pour qu'ils glissent sur le mur de la tranche et se mettent d'eux-mêmes en place, ce qui ne saurait avoir lieu avec des tranches horizontales. Ce dispositif apporte également de grandes facilités pour la double circulation du remblai et du charbon, l'un arrivant par la partie supérieure, tandis que l'autre sort par le bas du sous-étage. Il en est de même pour celle de l'air, qui se meut en sens contraire du roulage, entrant par la partie inférieure et sortant par le haut, de manière à mettre en pratique les préceptes de la ventilation ascensionnelle.

En revanche, le remblai se tient mal sur ces pentes. Le piqueur lui-même s'y trouve placé dans une situation incommode. Enfin le charbon, en tombant du front de taille, roule sur le sol incliné du chantier, en se détériorant et exposant les hommes à des accidents.

489 — *Marche en direction.* — La division par des plans parallèles à la stratification, fournissant des tranches aussi étendues, en principe, que le gîte lui-même, on est obligé d'y restreindre beaucoup la fraction du champ d'exploitation, que l'on veut déhouiller avant de passer d'une tranche à l'autre, sans quoi la fatigue deviendrait excessive par une trop longue attente. Le charbon se détériorerait, et l'incendie risquerait de s'y déclarer.

Cette considération peut aller jusqu'à obliger de changer de méthode. C'est ainsi qu'à Lucy, la couche, divisée en cinq tranches inclinées, prenait toujours feu, dans quelque ordre que l'on procédât pour les déhouiller. M. Dorion finit par reconnaître que l'inflammation se produisait dans les schistes du toit. Ceux-ci, en effet, finissaient toujours par éprouver la même fatigue, indépendamment de l'ordre d'exploitation des tranches. On mit fin à cet état de choses, en substituant à la méthode inclinée l'emploi des plans horizontaux. La bande ainsi obtenue étant limitée en largeur à la traversée du gîte, son déhouillement total progressait assez vite en direction, pour que l'on pût quitter d'une manière définitive chaque région avant son embrasement.

En insistant sur ce point de vue, on trouverait, dans ce qui pré-

cède, un acheminement vers la méthode verticale, qui réduit la projection horizontale dans le sens de la direction, en même temps que suivant le sens transversal, à ce qui est nécessaire pour que la montée de tranche en tranche dans cette pile jusqu'au sommet de l'étage, précède l'instant de sa mise en feu. Les trois méthodes forment ainsi, sous ce rapport, une gradation rationnelle.

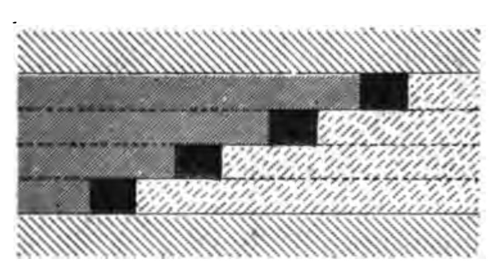


Fig. 342. Méthode inclinée (coupe verticale en direction).

A la Grand'Combe, dans la mine du Ravin, exploitée par tranches inclinées, la marche en direction est extrêmement rapprochée, de l'une à l'autre (fig. 342). Les divers ateliers y sont systématiquement séparés par une largeur de chantier.

490 — *Enlèvement d'une tranche.* — Quant au mode à employer pour le déhouillement d'une tranche, il semble, au premier abord, qu'il puisse être emprunté à l'une quelconque des nombreuses méthodes que nous avons étudiées dans le chapitre précédent pour les couches minces. Cependant, en y regardant de plus près, on comprend que le choix sera forcément plus circonscrit dans l'application.

Par exemple, on n'aura pas à faire intervenir ici les méthodes de gradins, car elles supposent essentiellement un gîte très redressé, tandis qu'il doit être peu incliné pour se prêter à la subdivision en tranches parallèles à la stratification. L'on n'aura que rarement recours aux grandes tailles montantes. Elles supposent, en effet, un gîte qui donne du remblai à pied d'œuvre, tandis que, dans le cas actuel, on doit nécessairement l'amener du dehors, en raison de la grandeur de la puissance. Il est donc alors nécessaire de pratiquer préalablement, en pleine masse, des plans inclinés, pour le descendre du haut de l'étage, puisque l'on ne saurait songer à l'introduire par la base de l'ouvrage montant et à l'élever dans les

tailles contre la pesanteur. On n'aura pas davantage à employer les traçages en demi-pente, ni les maintenages, artifices destinés à corriger les effets d'un pendage excessif, qui est exclu de l'hypothèse actuelle. Il ne restera, par suite, de tout cet ensemble, que la méthode des grandes tailles, le plus souvent chassantes, et celle des chambres. Ce sont, en effet, les types auxquels se rattachent constamment les exploitations par tranches inclinées [1].

491 — *Méthode de Beaubrun.* — Les étages sont presque toujours limités par des plans horizontaux. On doit citer cependant, comme exception (n° 362, note), un mode de division employé à Beaubrun [2], à l'aide de plans verticaux en direction. Dans cette méthode, due à M. Locard, on commence par installer, sur le mur de la couche, un plan incliné automoteur. Les costresses que l'on y rattache sont espacées de 50 mètres suivant l'inclinaison, et poussées jusqu'à la limite du quartier. Pour prendre un étage, on branche sur la galerie d'allongement des enlevures montantes, que l'on prend consécutivement, en rétrogradant depuis l'extrémité. Elles sont remblayées d'un seul coup à partir du haut (n° 459).

Lorsque l'on a, dans la tranche du mur, reculé de 24 mètres en deçà de la limite du quartier, ce qui suppose une dizaine d'enlevures, on continue, d'une part, à appliquer progressivement le même système dans cette tranche, mais, en même temps, on se reporte à l'extrémité du champ, pour défaiter la galerie, et l'exhausser verticalement jusqu'en seconde tranche. On la remblaye alors, dans la première, suivant une pente douce, qui atteint sur ces 24 mètres la valeur d'un douzième. A partir de ce moment, on se met à déhouiller, en rétrogradant, dans cette seconde tranche, à l'aide d'enlevures contiguës, prises sur le remblai des précédentes. On continue, en passant d'un chantier au suivant, à re-

[1] La Béraudière (troisième brûlante), Commentry, Cransac (petite couche), Doyet (Allier), Montrambert (puits Devillaine), Épinac (fontaine Bonnard), Firminy (Loire, puits Monterrad), Beaubrun (puits Chatelus), la Grand'Combe (le Ravin), La Péronnière (Loire, Sainte-Camille), Saint-Geniès (Hérault, Graissessac-ouest), Villars (Loire); Styring (Couche Henri, Moselle). La houillère sous-marine d'Arnao (côte cantabrique) présente une puissance de 8 mètres, prise en trois tranches inclinées.

[2] Beaubrun, couche Montmartre (Baretta, *Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 259).

couper au faîte la galerie costresse, en la remblayant à la sole, de manière que cette rampe au douzième se transporte parallèlement à elle-même, en conservant une projection de 24 mètres, qui recule progressivement vers le plan incliné.

Lorsque ce second remblayage atteint, à son tour, une longueur de 24 mètres, on recommence à son extrémité ce que l'on a déjà pratiqué pour passer de première en seconde tranche. C'est-à-dire que, tout en continuant à pousser vers le plan incliné les deux premières exploitations, on défaîte la galerie à l'extrémité du quartier, et on l'exhausse en troisième tranche, en la remblayant à la sole, avec raccordement par une pente au douzième, qui succède à la précédente, sur un total de 48 mètres en projection; puis on pratique une troisième série d'enlevures, analogue aux deux premières et cheminant de conserve avec elles, de telle sorte que la rampe recule vers le plan sur ses 48 mètres de projection horizontale, pour que l'on puisse desservir à la fois les trois avancements.

On continue de cette manière à s'élever de tranche en tranche, et l'on en a pris ainsi jusqu'à 12 dans les grandes puissances. Nous voyons, d'après cette explication, que la partie remblayée se trouve finalement séparée par un plan vertical, du massif situé à l'aval-pendage, ainsi que nous l'avons annoncé tout à l'heure pour le mode de subdivision en étages ([1]).

§ 2

MÉTHODE HORIZONTALE — MODE EN TRAVERS

492 — *Méthode simple.* — La description de la méthode horizontale exige encore que l'on se reporte à ce qui en a été dit antérieurement à l'occasion du foudroyage (n° 435).

Nous ajouterons ici aux nombreux avantages énumérés alors, celui d'offrir, par une sole horizontale, une excellente assiette pour

([1]) Le remblai est fourni à Montmartre par des chambres d'éboulement pratiquées dans le toit (n° 418), à l'extrémité des voies d'allongement. Il rétrograde, toujours en descendant, le long de ces voies, pour être versé dans le haut des tailles de l'étage subordonné à chacune d'elles.

le remblai, ainsi que pour la tombée de minerai; à l'inverse de ce que nous présentait la méthode inclinée (n° 488).

La méthode horizontale comporte, dans l'exécution, deux modes fondamentaux : transversal et longitudinal, qui portent dans l'usage les noms de *méthode en travers* et *méthode en long*.

La méthode en travers ([1]) peut, elle-même, être appliquée suivant trois variantes distinctes.

493 — Dans la plus simple (fig. 343), l'étage est déterminé par deux travers bancs, l'un inférieur A, l'autre supérieur B, qui le re-

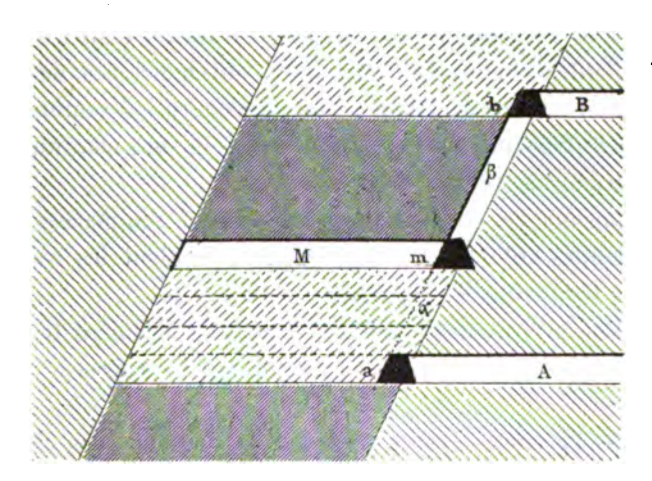


Fig. 343. Méthode horizontale en travers (coupe verticale en travers).

lient au puits. On y branche, au mur, deux mères-galeries *a* et *b*. Cette dernière a déjà servi de voie-de-fond pour l'étage supérieur, actuellement remblayé, au moins dans la partie qui surmonte le

([1]) La méthode en travers à été inaugurée dans le siècle dernier pour les filons puissants de Schemnitz, dont elle a sauvé alors l'exploitation.

On la rencontre dans les charbonnages de la Béraudière (Crêt-de-Mars), Campagnac (Aveyron), Commentry, Cransac (Frayssc), le Creuzot (Saône-et-Loire), Decazeville (Bourran, Aveyron), La Péronnière, Montigné (Mayenne), Rochebelle, Roche-la-Molière (la Varenne), Sainte-Barbe (Rive-de-Gier), Saint-Félix (Loire); Belmez (Espagne), etc.

On la voit également dans les mines de fer de La Voulte (Ardèche), de Mokta-el-Hadid (Algérie), de Dalkarsberg (Suède), et dans les parties puissantes des filons de Sainbel Rhône), Pontpéan; Monteponi, Zellerfeld, Carthagène, Idria, etc.

siège actuel de l'exploitation. De même la costresse *a*, qui forme la voie-de-fond de l'étage actuel pour le sortage du minerai, deviendra plus tard le chemin de remblais de l'étage inférieur.

On se trouve actuellement dans la tranche M. Pour la desservir, on a pratiqué, au mur, une galerie d'allongement *m*, dans des conditions plus sommaires que pour les voies-maîtresses *a* et *b*, dont chacune doit traverser la durée de l'exploitation de deux étages, tandis que *m* n'aura que celle d'une tranche.

De distance en distance, des cheminées, telles que α, ont été réservées dans les remblais, pour descendre les charbons à la voie-de-fond *a*. Elles vont toujours en s'allongeant par le haut, au fur et à mesure que l'on monte de tranche en tranche. Dans leurs intervalles, d'autres cheminées, telles que β, ont été percées, dès l'abord, sur toute la relevée de l'étage, pour descendre les remblais de la voie *b* à la tranche en exploitation. Celles-ci vont continuellement en se raccourcissant par le pied.

Ajoutons que ces cheminées seront souvent remplacées par des plans inclinés automoteurs, sur lesquels circulent les wagonnets, en même temps que les matières.

Quand on arrive au sommet de l'étage, la dernière tranche est prise sous les remblais avec les précautions nécessaires (n° **446**).

494 — La tranche est dépecée par la méthode des chambres. On branche sur la galerie d'allongement *m*, des chantiers en cul-de-sac pratiqués du mur au toit, d'après l'un quelconque des systèmes décrits ci-dessus (n° 457).

Tantôt, comme dans les charbonnages de la Mayenne, on prend des tailles contiguës suivant leur succession naturelle ; tantôt on emploie un ordre plus complexe.

On les groupe alors en séries, formées chacune de quatre viailles, et dont l'ensemble porte le nom de massif. On attaque d'ailleurs simultanément un nombre plus ou moins grand de ces massifs, d'après le degré d'activité que l'on veut imprimer à la production. Si nous désignons par $n + 1$ le rang du massif considéré, on en exploitera les quatre viailles dans l'ordre : $4n + 1, 4n + 3, 4n + 2, 4n + 4$. La première et la seconde sont, d'après cela, dépecées en

pleine masse, la troisième est prise entre les deux piles de remblai qui ont remplacé les précédentes, et la quatrième, entre le remblai de la seconde et celui du $(n+2)^e$ massif. On a soin, en effet, de commencer l'exploitation de ce dernier avant la conclusion du $(n+1)^e$, de manière que sa première tranche : $4n+5$, soit remblayée avant l'attaque de la dernière : $4n+4$, de ce $(n+1)^e$ massif.

495 — Quand le pendage est peu prononcé (fig. 344), le profil transversal de la tranche forme un parallélogramme à angles très aigus. Il serait difficile aux piqueurs de se glisser dans le *sifflet*, pour en retirer le charbon qu'il contient. On facilite cette opération [1], en pratiquant un *relevage* à l'extrémité. On déhouille alors dans chaque tranche le parallélogramme, plus la troncature *a* de la

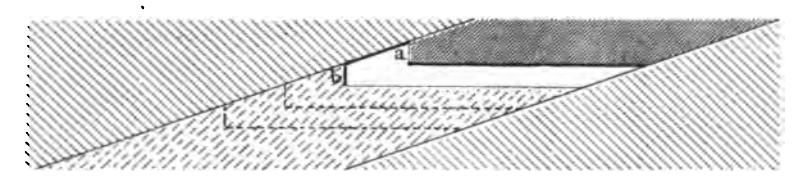


Fig. 344. Méthode horizontale en travers. Relevage (coupe verticale en travers).

tranche supérieure, et moins sa propre troncature *b*, qui a été prise avec la tranche inférieure.

Quant à l'autre extrémité, elle est plus facile à atteindre, car elle a tendance à glisser dans le vide du chantier. D'ailleurs, s'il en reste une partie, elle sera facile à reprendre avec la tranche supérieure qui la surplombe, tandis que *b* est, au contraire, recouvert par le toit.

496 — *Méthode complexe.* — La méthode simple qui précède admet certaines complications qu'il reste à indiquer.

On peut d'abord placer la galerie d'allongement en plein minerai, en vue d'éviter les ondulations du mur.

On peut également [2], en se plaçant à un point de vue absolument

[1] Ce détail est usité à Commentry.
[2] Comme à la Béraudière.

opposé, lorsque ces ondulations ne sont pas gênantes, en accepter l'assujettissement, en cherchant à égaliser exactement la longueur des deux traverses situées de part et d'autre, pour que les deux moitiés de l'atelier progressent du même train. Cette galerie forme alors, pour la section horizontale du gisement, la *courbe diamétrale conjuguée* d'un système de cordes, rigoureusement parallèles à une direction fixe, que l'on amorce à la boussole en ses divers points.

Quand les galeries-maîtresses sont ainsi placées en massif, on peut se dispenser de la sujétion de les établir directement l'une au-dessus de l'autre. Elles sont alternativement déjetées, de la moitié de leur largeur, à droite et à gauche du milieu (fig. 345).

Si la couche présente une grande traversée, au lieu de se borner

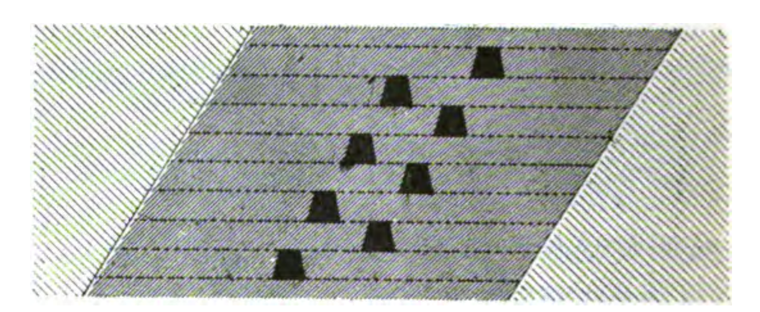


Fig. 345. Méthode horizontale en travers (coupe verticale en travers).

à une mère galerie au mur, on en ajoute une seconde au toit. Pour une puissance encore plus grande, on leur en adjoindra une troisième en pleine masse, et même un plus grand nombre. J'en ai rencontré jusqu'à huit. Ce traçage complexe présente l'avantage d'assurer l'indépendance des divers quartiers, qui se trouverait, avec une galerie unique, compromise par l'éboulement ou l'incendie.

497 — Cette difficulté spéciale de l'incendie a donné naissance aux *travaux au rocher*, qui tendent à se développer beaucoup (¹) et

(¹) Le Creuzot, Brassac, Belmez, Schemnitz. Au Montceau, ils atteignent un développement total de près de 12 kilomètres, quoique l'expérience de ces derniers temps ait amené un certain ralentissement à cet égard. A l'Huisserie et à Montigné, on coupe aussi la galerie dans le mur, mais au contact même du gîte.

qui procurent, sous ce rapport, une sécurité complète; puisque si l'on a le soin de les murailler, au lieu de les boiser, on est assuré qu'ils ne donneront aucune prise au feu. On place ordinairement de semblables galeries dans le mur, moins fatigué par les mouvements que le toit, à moins que ce dernier [1] n'offre plus de facilités qu'une roche du mur exceptionnellement dure, ou, au contraire, sans aucun maintien. Le traçage est alors conduit de la manière suivante.

Lorsque le travers-bancs fondamental, qui part de l'accrochage dans le puits, parvient à une certaine distance du gîte (10 à 30 mètres), c'est de ce point que l'on fait partir la galerie d'allongement. De distance en distance, on y branche des travers-bancs secondaires, pour desservir les divers panneaux de la tranche, que l'on peut, au besoin, isoler complètement les uns des autres par des massifs, réservés jusqu'au dernier moment. On peut aussi établir dans le gîte une maîtresse-voie, pour donner plus de facilités, sauf à la boucher pour cerner un incendie, s'il se déclare, tout en restant maître de desservir les autres parties du champ d'exploitation, à l'aide des travers-bancs secondaires.

A l'avantage que présentent les travaux au rocher, au point de vue de l'incendie, il faut ajouter celui d'éviter la production des poussières charbonneuses, par le piétinement des hommes et des chevaux dans les galeries sèches, ouvertes en plein charbon. Cette considération a son importance, au point de vue des dangers d'explosion auxquels exposent ces poussières.

Les galeries-maîtresses au rocher sont encore employées, lorsque le gîte est tellement imprégné d'eau, que l'on peut à chaque instant redouter des dangers de ce côté [2]. Dans ce cas, si l'une au moins des épontes est meilleure, on y développe la base d'opérations, avec un système de travers-bancs pour y relier les divers panneaux. On prépare à l'avance des serrements, ou barrages, contre une invasion imprévue des eaux.

On peut ajouter, enfin, que les ouvrages au rocher permettent de supprimer les massifs de protection nécessaires à la conservation des galeries pratiquées dans le charbon, et qui n'atteignent l'époque

(1) Comme au Creuzot.
(2) C'est le cas de la mine de plomb et zinc argentifères de Pontépan (Ille-et-Vilaine).

de leur dépilage qu'après une extrême fatigue, donnant beaucoup de menu, et exposant à quelques dangers pour leur déhouillement.

A la vérité, ces ouvrages sont très coûteux, bien qu'une partie de leur dépense d'exécution vienne en défalcation de celle des carrières de remblai. Pour diminuer, autant que possible, le total de ces percements, on les fait servir ordinairement pour trois tranches (fig. 346). Lorsque la tranche d'à-rase est déhouillée, on pratique une mère galerie au charbon en seconde tranche, et l'on relève en pente les travers-bancs secondaires, en les recoupant au faîte, et remblayant à la sole avec les débris. On refait encore cette opération une seconde fois pour s'élever en troisième tranche; et, pour obtenir

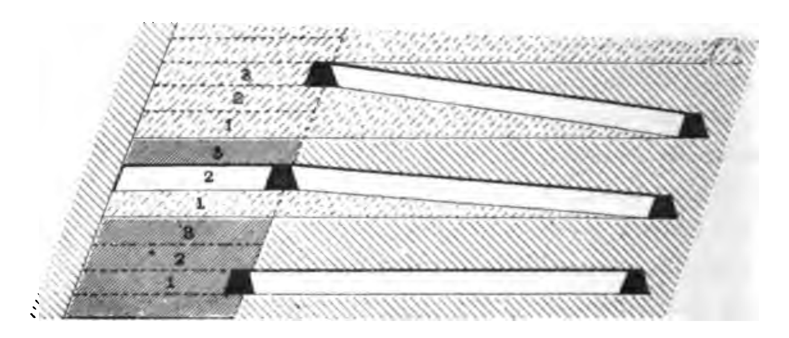


Fig. 346. Méthode horizontale en travers, ouvrages au rocher (coupe verticale en travers).

que la pente ne soit pas trop raide, on a soin de placer la voie costresse au rocher à une distance suffisante du gîte. Mais on ne saurait continuer ainsi indéfiniment, sous peine de perdre, par le travail à exécuter sur de trop longs travers-bancs, ce qu'on éviterait comme percement d'une nouvelle voie-maîtresse au rocher. On en rétablit donc une nouvelle pour la quatrième tranche, et on la fait servir de même à l'exploitation des deux suivantes [1].

[1] Pour éviter d'avoir ainsi à remonter le remblai sur ces rampes un peu raides, on a installé au Montceau de petits plans inclinés, sur lesquels deux wagons de charbon, en descendant la pente, remontent un wagon de remblai et un wagon vide. (Mathet, *mines de Blanzy, puits Sainte-Eugénie, Projet d'exploitation*, in-4°. Paris, 1880, p. 13.)

498 — *Méthode des amas.* — Nous avons déjà fait remarquer (n° 435) que la méthode horizontale permet seule d'exploiter, d'une manière rationnelle, un amas de forme irrégulière. Elle s'y applique, avec le principe du remblayage, de la manière suivante.

L'amas est partagé en étages par des plans horizontaux. A la base de chacun d'eux, un travers-bancs, venant du puits, débouche dans la masse. On commence par pratiquer à ce niveau une galerie de ceinture (fig. 347) qui en suit exactement les contours, sans quitter le contact du minerai et de la roche. Cet ouvrage sert à déterminer

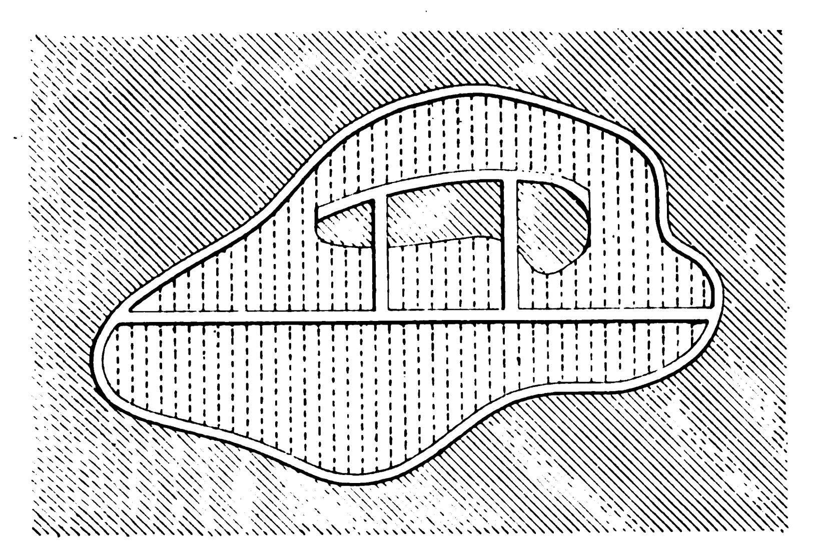


Fig. 347. Méthode horizontale. Exploitation d'un amas (coude horizontale.)

avec précision la forme de l'amas, au moyen d'un certain nombre de courbes de niveau, correspondant aux divers étages.

Une galerie aussi tourmentée ne saurait convenablement servir de base à un système de viailles, ni de voie-de-fond pour le roulage. On perce donc en pleine masse une mère galerie rectiligne, disposée dans la section que l'on vient de se procurer, de manière à la partager le plus également possible.

Lorsque la première tranche est exploitée de cette manière, on s'élève sur le remblai de tranche en tranche, à l'aide de galeries-

maîtresses superposées à la première, et déjetées successivement à droite et à gauche. Seulement, on s'abstient de refaire pour chaque niveau une galerie de contour, qui ne présenterait aucune utilité. Les chantiers viennent alors simplement buter contre la roche encaissante.

Si l'on reconnaît dans l'amas la présence d'un nerf stérile, assez important pour qu'il y ait économie à s'abstenir de le dépiler, on se contente, dans chaque tranche, de le repercer en un nombre suffisant de points, pour pouvoir se relier facilement à une mère galerie établie à son revers. Alors on laisse buter contre le nerf les viailles branchées sur l'artère principale, et l'on en établit un second système à l'opposite [1].

On emploie à Commentry [2], dans des parties irrégulières, qui procèdent par renflements et amincissements successifs, une méthode mixte, qui participe à la fois du mode incliné et du mode horizontal [3]. On prend sur le mur, en suivant toutes ses inflexions, une tranche unique, présentant une épaisseur normale de chantier. Elle est déhouillée en grande taille montante, par une équipe de piqueurs qui restent constamment alignés suivant un seul front horizontal. A des intervalles de temps successifs, on les retrouve, par suite, sur des courbes de niveau consécutives, et de plus en plus élevées. En même temps, un autre poste enlève tout ce qui reste en couronne, à l'aide d'un ouvrage en travers, qui progresse par tranches horizontales superposées. On déhouille chacune d'elles en y prenant pour base d'opérations le chantier du mur, pratiqué par les premiers piqueurs, et poussant jusqu'au toit. Cette seconde exploitation marche de conserve avec la première, que l'on suit aux divers niveaux, en montant sur le remblai de tranche en tranche.

[1] On peut citer comme exemples de ce genre d'exploitation la mine de plomb du Bleyberg-ès-Montzen, celle de calamine de Moresnet (Vieille-Montagne), le stockwerk cuivreux de la Preugne (Allier), l'amas de pyrite cuivreuse de Fahlun (Suède), celui de pyrite de fer cuprifère d'Agordo (Haute-Vénétie). (Haton de la Goupillière, *Annales*, 5e, VIII, 407.)

[2] Au puits du 12-Juillet, ainsi qu'à Montvicq.

[3] Nous retrouverons dans la méthode d'Almaden (no 506) une association analogue, d'une tranche prise sur le mur avec des ouvrages en travers complétant le dépècement du gîte. Seulement, la tranche inclinée y est foncée en descendant, tandis qu'à Commentry elle est déhouillée en montant, ce que permet l'absence de grisou.

Le chantier reçoit les remblais par des plans inclinés pratiqués préalablement sur le mur, à partir du sommet de l'étage ; et l'on ménage dans le remblayage d'autres plans inclinés, pour descendre le charbon à la base de l'étage.

§ 3

MÉTHODE HORIZONTALE — MODE EN LONG

499 — Une tranche horizontale d'un gîte puissant incliné représente assez exactement l'un des lopins de la méthode des massifs longs (n° 424), car elle a une largeur limitée et une longueur indéfinie. Un pareil massif peut se dépiler en long ou en travers, et nous avons déjà fait ressortir cette analogie en parlant du foudroyage (n° 436). Elle se poursuit encore dans l'application du remblayage, et, après avoir, dans la méthode en travers, effectué cette opération au moyen d'ouvrages perpendiculaires à la direction, on peut conduire le remblayage d'une manière chassante, dans le second mode que nous avons maintenant à décrire.

Ce système comporte trois variantes très différentes, suivant l'importance de la traversée du gîte : mince, moyenne ou puissante. Elle se prête en effet à tous les degrés de la puissance. A cet égard, la méthode en travers, que nous venons de décrire, suppose évidemment une épaisseur notable [1]. Pour une largeur trop faible, l'emploi des traverses introduirait une complication, qui rendrait l'exploitation plus onéreuse que rémunératrice ; et, pour des filons suffisamment minces, la mère galerie occuperait à elle seule toute la puissance, et même une partie des épontes. Cette méthode est donc absolument spéciale aux gîtes puissants, de même que nous en avons précédemment rencontré, comme la méthode des gradins droits, qui restaient exclusivement affectés aux gîtes minces. Au contraire, nous avons vu, dans celle des gradins renversés (n° 487), une méthode *extensible*,

[1] Cette circonstance établit une sorte de compensation entre la méthode inclinée, qui est limitée aux traversées modérées, et la méthode en travers, qui ne saurait s'abaisser à des largeurs insuffisantes.

de la catégorie des gîtes minces à celle des filons puissants. La méthode horizontale en long nous fournit un second exemple d'une semblable élasticité. Seulement elle revêt, suivant les divers cas, une forme très différente que je vais chercher à faire ressortir.

500 — *Traversée mince.* — Pour prendre, par ce procédé (¹), un lopin limité par les niveaux A, B et les montages P, Q (fig. 348), on le dépèce par une série de chantiers horizontaux, qui occupent toute sa largeur, et souvent même entaillent les épontes. Chacun d'eux est établi sur le remblai du précédent.

Le chantier M est attaqué par le montage P, et poussé jusqu'à

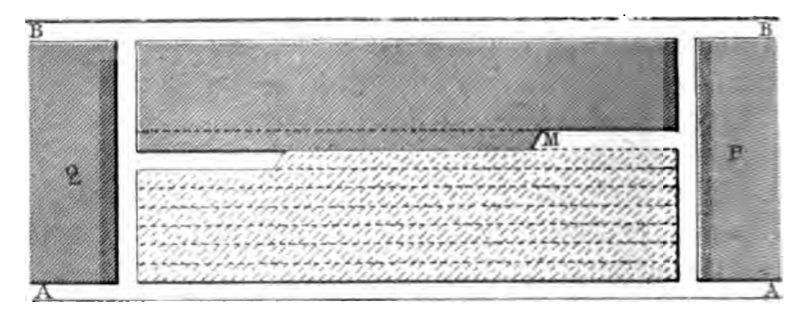


Fig. 348. Méthode horizontale en long. Traversée mince (coupe par le plan du filon).

l'autre extrémité. Le minerai descend par P dans la voie de fond A. Quand la taille a percé dans le montage Q, on remblaye en reculant à partir de P, et amenant les terres par le niveau B et la descenderie Q. Dès que le remblayage a un peu rétrogradé, on peut, sans attendre sa terminaison, attaquer une nouvelle taille à partir de P, en montant sur ce remblai.

Si plusieurs lopins contigus sont dépilés en même temps, on les prend alternativement de droite à gauche et de gauche à droite, de manière que le montage qui les sépare serve à la fois pour tous les deux, soit à évacuer le minerai, soit à fournir le remblai.

(¹) Filons de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), Pontpéan, Sainbel, Idria, Berezowski. Dressants des charbonnages de Bessèges, de Carmaux (Tarn).

501 — *Traversée moyenne.* — On commence (fig. 349) par tracer dans la tranche deux galeries de direction près du toit et près du mur [1]. Les petites bandes de charbon qui les en séparent se prennent à part. On pousse ces voies jumelles jusqu'aux limites du quartier, en les reliant de distance en distance par quelques recoupes d'aérage, plus ou moins espacées suivant l'abondance du grisou (n° 371).

Arrivé à la limite, on ouvre une dernière recoupe, puis on en

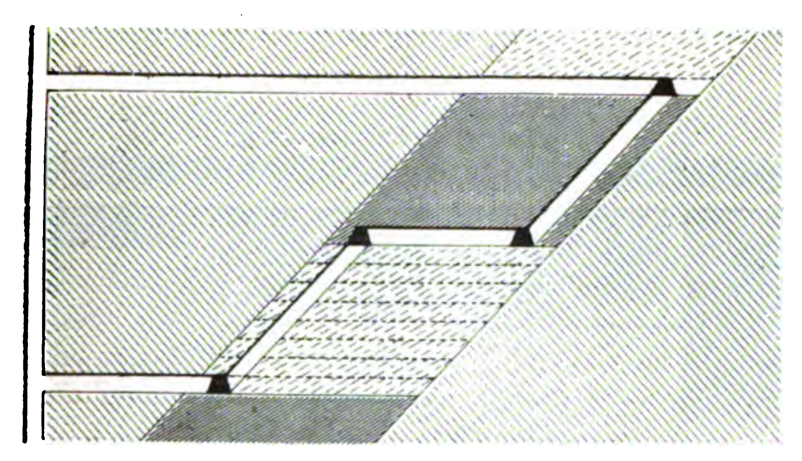


Fig. 349. Méthode horizontale en long. Traversée moyenne (coupe verticale en travers).

prend le flanc pour front de taille, et l'on ramène celui-ci en chassant jusqu'au point de départ. Le charbon gagne, par l'une des galeries, le plan incliné, qui le descend à la base de l'étage; le remblai descend du haut de la costresse supérieure par un autre plan incliné, et atteint le chantier par la seconde galerie. Le long du front de taille, se trouve un chemin de fer, que l'on ripe latéralement, pour en suivre l'avancement.

502 — *Traversée puissante.* — Si la puissance devient excessive, ou si, en la supposant modérée, le charbon manque de la

[1] Cette méthode a été employée à Commentry et à Montceau-les-Mines (Sainte-Marie).

solidité nécessaire pour l'appareil précédent, on restreint les tailles à une faible largeur, comme dans les filons minces, et l'on juxtapose un nombre suffisant de ces recoupes pour occuper toute la traversée (¹).

Deux galeries d'allongement (fig. 350) sont ouvertes dans la tranche près du toit et du mur, pour assurer, comme dans le cas précédent, le service du charbon et du remblai; les petites bandes contiguës aux épontes étant prises à part. La masse centrale est divisée en lopins, par des traverses pratiquées de distance en distance, et servant pour l'aérage pendant le percement des

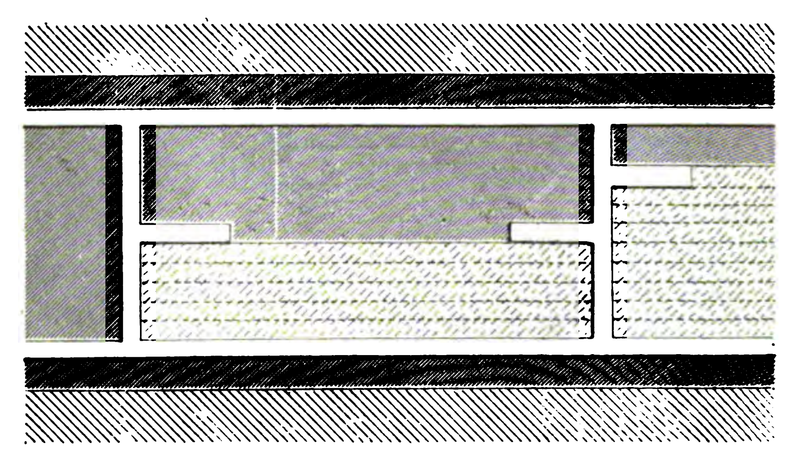


Fig. 350. Méthode horizontale en long. Traversée puissante (coupe horizontale).

galeries jumelles. Chacune de ces traverses forme une base d'opérations, pour déhouiller les deux lopins qu'elle sépare; et, en même temps, chaque lopin est attaqué par ses deux extrémités, à l'aide des traverses qui le limitent.

Le dépilage se fait au moyen de recoupes contiguës, prises l'une après l'autre, et dont les deux avancements se rencontrent au

(¹) Aubin (Le Montet), La Béraudière, Commentry, le Creuzot, l'Huisserie (Mayenne), Lucy, Mars (Loire), Sainte-Elisabeth et Saint-François (Montceau), Saint-Félix (Loire) Belmez (la Terrible, près de San-Eliza), Trifail (Styrie); mine de graphite de Schwarzbach (Bohême); mines de fer d'Eizenerz (Styrie), Bindt (Hongrie, comitat de Zips).

milieu de la longueur. A partir de ce point, on remblaye en reculant vers les extrémités.

Il arrive parfois que la planche longue et mince, à laquelle se réduirait le lopin vers la fin des opérations, manquerait de résistance. Dans ce cas, on ne pousse pas l'application du système jusqu'au bout. On l'arrête, quand la limite convenable de résistance paraît atteinte, et l'on achève de dépiler le stross qui reste, à l'aide de petites tailles en travers.

§ 4

MÉTHODE VERTICALE

503 — *Généralités.* — Le principe de la méthode verticale consiste, en prenant les étages dans l'ordre descendant, à dépecer chacun d'eux en montant, mais en restreignant chaque attaque à une surface assez limitée en projection horizontale, pour que l'on ait le temps de s'élever jusqu'au sommet de la pile, avant que les inconvénients que l'on redoute, comme conséquences de l'exploitation, arrivent à se développer. C'est surtout en vue de l'inflammabilité excessive de certains combustibles que cette méthode a été instituée; elle reste d'une application exceptionnelle, et toujours motivée par quelque raison déterminante, de nature à faire passer sur ses divers défauts (1).

Le chantier est, en effet, rétréci, et défavorable au rendement du piqueur. Les cheminées de communication, établies sur une grande hauteur, brisent le charbon. La production peut difficilement

(1) Outre les deux exemples de Firmy et d'Almaden que nous décrivons en détail, on peut citer pour mémoire : l'exploitation, actuellement épuisée, des dressants de Fournier (Grand'Combe) (*Annales*, 7e, IV, pl. V); la méthode, aujourd'hui abandonnée, *des grands abatages*, dont on voit encore les piliers de maçonnerie à Bourran (Decazeville); l'ancienne méthode *des bouillards*, à la Bazouge (Mayenne), dans laquelle on prenait en gradins renversés, en travers sur la direction, un lopin de 2 mètres d'allongement et 10 mètres de hauteur (Blavier, *Essai statistique, minéralogique et géologique sur le département de la Mayenne*); l'exploitation de Malpertus (Gard), et de certaines parties de Sainbel, prises en travers sur une très courte longueur en direction, et en achevant une pile jusqu'au sommet de l'étage, avant d'attaquer la voisine.

prendre une grande intensité, avec des ateliers aussi restreints, à moins de les multiplier sur un grand nombre de points.

504 — *Houillère de Firmy.* — La couche de Firmy (Aveyron) [1] a 9 mètres de puissance et 70° d'inclinaison. On la partage, sur 1200 mètres en direction, en quartiers de 100 mètres ; et, suivant la hauteur, en étages de 12 mètres, qui sont eux-mêmes dépecés, suivant six zones horizontales de 2 mètres, en AB, BC, CD, DE, EF, FG (fig. 351). La zone inférieure comprend la voie-de-fond, qui est

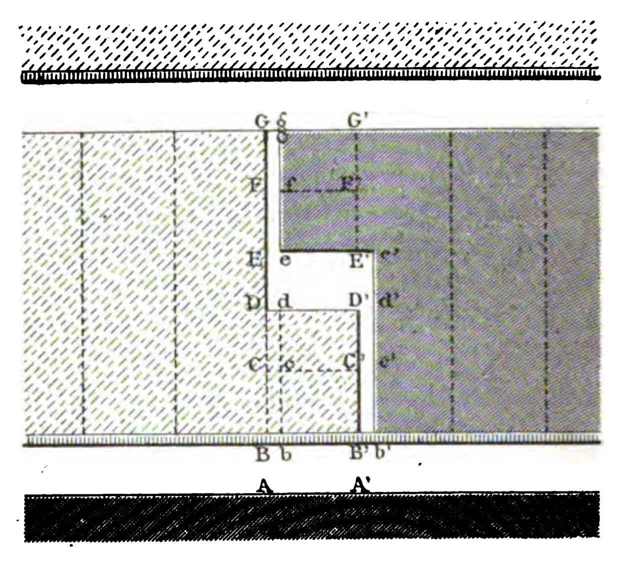


Fig. 351. Méthode verticale. Houillère de Firmy (coupe verticale en long).

muraillée et voûtée. Les cinq autres se succèdent jusqu'à la galerie ménagée dans l'étage supérieur, déjà remblayé, pour le service actuel des remblais. Chaque quartier est divisé en *piles* de 3 mètres en direction, s'étendant du toit au mur et prises consécutivement, une seule à la fois sur chaque point, de telle sorte que l'on n'en attaque une nouvelle que lorsque celle qui lui est contiguë a percé au faîte de l'étage.

[1] Colrat, *CRM*, avril, 1877. 1

Pour prendre la première zone AA′ BB′, on crève les piédroits de la maçonnerie en étançonnant la voûte, et l'on bat au large jusqu'au mur et au toit. Puis on remblaye en reculant, et l'on rétablit les piédroits.

Pour enlever la seconde tranche, on crève la voûte en BB′, et l'on coupe le charbon, pour s'élever de 2 mètres au-dessus du rectangle projeté en AA′. Ensuite on bat au large dans les deux sens, jusqu'aux deux épontes, et l'on remblaye en reculant. Cependant, on ménage la cavité parallélépipédique qui se trouve au-dessus de la galerie. On rétablit la voûte, pour former la sole de cette cavité.

On a soin de ménager une ouverture B′*b′* ***prélevée sur la pile suivante***, et au-dessus de laquelle on entaille, dans cette pile, un conduit B′ *b′* C′ *c′*, partagé en deux travées qui sont boisées en forme de cheminée, l'une pour le passage des hommes et de l'air, l'autre pour la descente du combustible. Cette cheminée à charbon, s'accroissant quand on s'élèvera de tranche en tranche, finira par atteindre le faîte lorsque la pile s'achèvera, et qu'il s'agira de passer à la suivante. A ce moment, elle changera de rôle et servira à descendre, dans les zones successives de cette nouvelle pile, le remblai amené par la galerie supérieure. C'est ce que l'on voit sur la figure 351, pour la pile actuelle, en G*g*D*d*, qui résulte du raccourcissement par le bas, en raison du remblayage, de la cheminée G*g*B*b*, prélevée antérieurement sur la pile actuelle, lors de l'exploitation de la pile précédente, actuellement remblayée. On reconnait dans ce dispositif l'ouvrage en baïonnette, décrit ci-dessus (nº 459), pour un plan qui alors était horizontal, ou très couché, et qui est ici devenu vertical.

Pour prendre la troisième tranche, on s'exhausse de 2 mètres au-dessus de la chambre ménagée à l'aplomb de la galerie, puis on remplit cette dernière cavité, pour procurer une sole au nouveau chantier. On bat au large dans les deux sens, et l'on remblaye ensuite en rétrogradant à partir du toit et du mur. On continue ainsi de tranche en tranche.

505 — *Mine de mercure d'Almaden.* — La belle méthode

suivie à Almaden ([1]) emprunte un intérêt particulier à l'antiquité de cette mine, ouverte par les Phéniciens ; à la richesse de ce gisement, qui a été appelé le *joyau de la couronne d'Espagne* ; et à l'emploi exclusif, comme remblai, de la maçonnerie appareillée sous des formes très remarquables.

Le gîte est composé de trois filons-couches qui portent, en allant du mur au toit, les noms de San-Nicolas, San-Francisco, San-Pedro. Leur puissance collective est d'environ 25 mètres. L'un des nerfs qui les séparent est assez important pour être respecté, l'autre est enlevé en même temps que les deux filons du mur. Le pendage est de 75 à 80° NE. Le gisement est reconnu en direction sur 180 mètres environ. Il semble augmenter de longueur et de puissance dans la profondeur, tandis que l'épaisseur des nerfs va en diminuant. La hauteur actuelle des travaux atteint 350 mètres.

Le minerai, qui est le cinabre à peu près massif, rend en grand 8 °/₀ de mercure en moyenne, cette teneur variant de 4,5 à 44 0/0. Le mètre cube fournit 240 kilogrammes de métal. Le tonnage total, de 1564 à 1873, a été de 120 180 tonnes de mercure, dont la valeur, en l'estimant d'après les cours actuels, représenterait 720 millions de francs. Le produit des meilleures années s'est élevé jusqu'à 12 millions. Mais la découverte des mines de New-Almaden, en Californie, avait porté un coup à cette prospérité, en faisant baisser le prix du métal de près de moitié. Les chiffres précédents sont donc certainement inférieurs à la réalité.

506 — Chacune des deux exploitations, séparées par le gros nerf, est conduite de la manière suivante (fig. 352, 353). Le gîte est divisé en étages de 25 mètres de hauteur, et chaque étage en *foncées*, qui présentent $3^{m},40$ en direction. On exploite ces dernières de deux en deux sur toute leur hauteur, avant de passer aux foncées adjacentes qui les séparent, et qui subsistent parfois très longtemps à l'état de réserves.

([1]) Due à l'initiative de l'ingénieur don Diego Larrañaga en 1804. On peut consulter sur ce sujet les monographies suivantes : Don José de Monasterio (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXIX, 1). — Esquerra del Baio (*Laboreo de Minas*). — Bernaldez e Rua Figueroa (*Memoria sobre las minas de Almaden*). — Henry (*Annales*, 7e, I, 444). — Küss (*Annales*, 7e, XIII, 39). — Rapports du jury de l'exposition de 1867, V, 677.

Pour prendre une foncée, on enlève d'abord sur le mur une tranche inclinée de 2^{m},50 d'épaisseur. Ce dépilage se fait en descendant, avec des gradins droits ou renversés, et en soutenant la paroi à l'aide de bois transversaux. Une fois parvenu au fond de l'étage, on pousse, du mur au toit, une traverse sur toute la largeur de la foncée, entre les deux massifs réservés qui la limitent. Dans ce vide, on établit à loisir une voûte surbaissée en maçon-

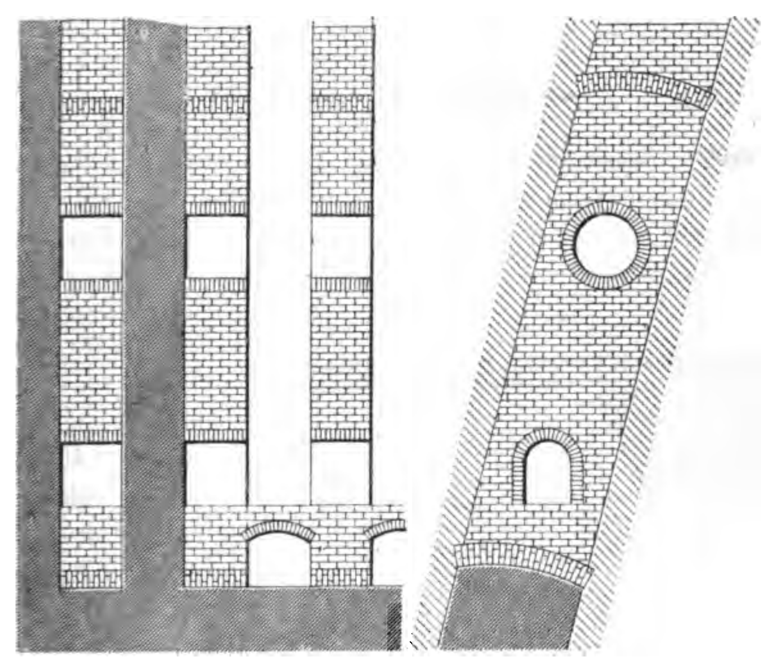


Fig. 352 et 353. Méthode verticale. Mine de mercure d'Almaden (coupes verticales, en long et en travers).

nerie, dont la corde est inclinée sur l'horizon, afin de rester perpendiculaire aux épontes. On exhausse alors la taille en remontant, et, au fur et à mesure que s'élève le plafond, l'on construit, à la sole, des assises de maçonnerie, d'épaisseur correspondante. Il faut avoir soin, pour cela, d'opérer avec lenteur, afin qu'elles aient le temps de sécher avant de se trouver surchargées. Ce procédé conduit ainsi jusqu'au sommet de l'étage un massif qui remplace celui de minerai.

Quant aux piles intercalées, on les exploite en descendant, pour plus de facilité. Il est inutile de les remblayer, les piliers de maçonnerie suffisant largement pour maintenir les parois. Seulement, on jette sur ce vide des ponts en direction, établissant la continuité des galeries d'allongement, qui sont ménagées pour les communications, pendant l'édification des massifs intermédiaires (¹).

§ 5

MÉTHODE DE RABATAGE

507 — *Généralités.* — Le *rabatage* est un mode spécial d'exploitation, qui peut s'appliquer dans les gîtes suffisamment redressés, quelle que soit leur puissance. Il consiste, en principe, à pousser en avant une galerie A (fig. 354) au-dessus d'une autre B, préalablement établie à un niveau inférieur. Toutes les deux sont réunies par une taille inclinée C. Celle-ci a pour toit le minerai, qui forme le front de taille de l'avancement; on lui donne pour sole le remblai, qui sert à combler le vide produit par cet avancement, et à boucher progressivement la galerie B. Cette dernière va donc incessamment en se raccourcissant, tandis que A s'allonge, et que la taille C se déplace parallèlement à elle-même.

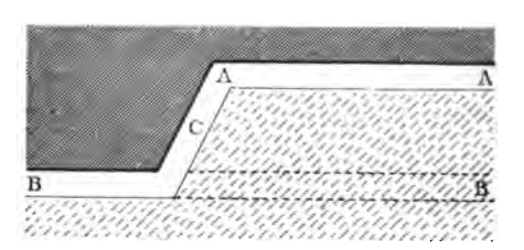


Fig. 354. Rabatage (coupe verticale).

L'inclinaison du chantier C est essentiellement celle du talus naturel, que prend le remblai ameubli. Les wagonnets arrivent par la voie supérieure A, et sont culbutés au sommet de la taille. Les terres se mettent en place d'elles-mêmes. Au fur et à mesure que l'on

(¹) On trouvera au n° 534 l'établissement du prix de revient, très exceptionnel, de cette exploitation.

ajoute ainsi une épaisseur à la sole, on enlève, suivant une parallèle au talus, une épaisseur égale de combustible. Celui-ci roule au pied du talus, et on l'y charge dans des wagonnets, qui l'emmènent par la galerie inférieure B.

508 — Ce principe suppose essentiellement un charbon solide, pour se tenir ainsi en surplomb, et ne pas rendre dangereuse la situation de l'ouvrier. Il faut de plus avoir un bon remblai, capable de soutenir les bois, bien que posé d'un seul coup sur toute la hauteur de la zone exploitée, au lieu d'être successivement consolidé par le tassement de tranches distinctes sur cette grande épaisseur. Celle-ci devra, pour cette raison, être fixée, dans l'aménagement général, en tenant compte de la nature du remblai dont on dispose.

Cet appareil assure, d'une manière nette, l'indépendance des deux services du charbon et du remblai, dont le mouvement s'effectue par des voies distinctes. Il permet l'aérage ascensionnel. Il supprime les frais de la mise en place du remblai, qui s'effectue par la seule gravité.

En revanche, il oblige, pour la solidité du chantier, à en rétrécir la largeur, ce qui est défavorable au rendement du piqueur. Il tend à salir le charbon, qui roule au milieu des terres, non sans danger pour les hommes, et il expose à en perdre une partie. Cet inconvénient est surtout sensible lorsque des mises schisteuses sont interposées entre les lits de la houille, car cette descente en commun tend à mélanger les deux substances et à en rendre le triage moins facile. Pour ce motif, on dispose dans les grands rabatages d'Allevard (Isère) des *platelages*, formés de rondins et d'écoins, et destinés à recevoir dans sa chute le fer spathique, en facilitant sa descente. On les enlève quand on veut ajouter une tranche de remblai, et on les rétablit ensuite.

Le principe du rabatage peut s'appliquer suivant deux modes distincts : *en travers*, ou *en long*.

509 — *Rabatage en travers* [1]. — PREMIER EXEMPLE. — *Houillère*

[1] Cette méthode a pris naissance à Montrambert, et porte pour ce motif le nom de *méthode de Montrambert* (Devillaine, *Bull. min.*, 1re, IV, 240). Elle figure

de Bézenet. — La couche de Bézenet (Allier) est divisée en sous-étages de 6 mètres de hauteur (fig. 355, 356, 357). Deux galeries d'allongement règnent sur toute la longueur du quartier : la voie supérieure, au mur ; la galerie inférieure, au toit. Le sous-étage est partagé en massifs de 16 mètres de long, qui forment l'unité d'exploitation.

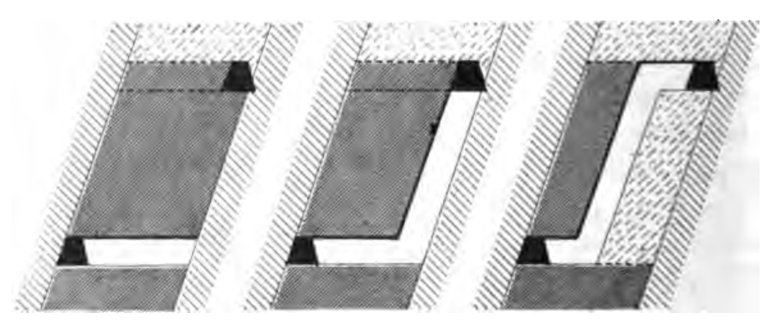


Fig. 355, 356, 357. Rabatage en travers. Houillère de Bézenet (coupes verticales en travers).

Le dépilage d'un massif s'effectue en le partageant en quatre lopins A,B,C,D, de 4 mètres en direction. Ces lopins ne sont, du reste, pas identiques entre eux (fig. 358). On prend d'abord A, en lui donnant deux faces latérales, inclinées suivant le talus naturel des terres. En second lieu : B, dont l'enlèvement ne provoquera aucun éboulement

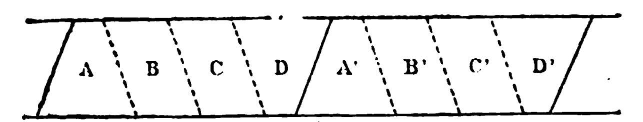


Fig. 358. Rabatage en travers. Houillère de Bézenet (coupe verticale en long).

du remblai A, puisque celui-ci conserve son talus spontané. Il en sera de même pour C, qui est dépecé en troisième lieu. Mais, avant de prendre D, on a eu soin d'attaquer, en temps utile, le massif sui-

également à La Mure, à Belmez (la Terrible). Elle a été employée à Blanzy, où elle a été abandonnée, à la suite d'une discussion très attentive établie par M. Petitjean, entre elle et la méthode horizontale (*Annales*, 7e, IV, 67). On s'occupe d'en faire un nouvel essai à Sainte-Eugénie.

vant, et d'enlever son premier lopin A'. Le déhouillement de D peut alors s'effectuer, sans difficulté, entre les deux talus naturels de C et de A' (¹).

Pour dépecer un lopin (fig. 355), on branche sur la voie de fond une traverse de 2 mètres de large, allant du toit au mur. A ce moment, on bat au large, sur les 2 autres mètres, et l'on monte une taille sur le mur (fig. 356), avec la largeur totale de 4 mètres. On commence alors le rabatage, en transportant le front de taille parallèlement à lui-même (fig. 357). Pour mieux soutenir le sous-étage supérieur, on réduit à 2 mètres la largeur de l'entrée des remblais, comme on l'a déjà fait pour la voie de sortie des charbons. A cet effet, on relève les terres sur 2 mètres de large, derrière un parement en pierres sèches.

510 — Deuxième exemple. — *Mine de fer carbonaté spathique d'Allevard.* — A Saint-Pierre d'Allevard (Isère), le minerai est un carbonate spathique, présentant, après grillage, en fer et manganèse, une teneur de 42 °/₀ assurée dans le prix de vente, qui est de 12ᶠ,00 à 12ᶠ,50 sur wagon P. L. M., avec majoration en plus ou en moins suivant les écarts de richesse. Celui du minerai cru est de 8ᶠ,00 pour l'affouage de l'usine d'Allevard. Le filon a été recoupé et rejeté horizontalement par des failles. Les tronçons, ainsi séparés, portent le nom de *rues*, et constituent autant de lopins, que que l'on exploite distinctement. On les partage en étages de 25 mètres de hauteur, à l'aide de galeries d'allongement, qui suivent en zigzag les directions respectives des rues et des croiseurs. La galerie supérieure A sert pour l'arrivée des remblais (fig. 359, 360, 361), et la voie inférieure B, pour le départ du minerai.

On pratique sur le mur, du haut en bas de l'étage, une cheminée C, qui va sans cesse en se raccourcissant, et finira par disparaître. On prend une enlevure PQ, dont le front de taille se trouve en M. Son plafond est exactement parallèle au talus naturel des terres (²).

(¹) On n'emploie guère, en général, pour l'aménagement des gîtes minéraux, que des plans verticaux, horizontaux, ou parallèles à la stratification. On remarquera donc, en passant, cette application spéciale de plans inclinés, qui ont une direction perpendiculaire à celle du gisement.

(²) Les figures 359 à 364 supposent ce talus notablement plus couché que le gîte, tan-

Lorsque cette épaisseur est abattue, on verse sur le massif de remblai, en $P_1 Q_1$, une épaisseur égale de stérile, que l'on introduit par la cheminée C. Ce massif, d'abord nul en B, s'étend peu à peu sous la forme triangulaire BP_1Q_1, et finit par atteindre le point A en achevant de faire disparaître la cheminée. Il devient alors trapézoïdal en $A'B'P'_1Q'_1$, et les terres arrivent alors, non plus en glissant sur le mur, mais, au moyen du roulage, par la traverse $A'P'_1$, que l'on ménage dans la pose de ce remblai. Le trapèze, continuant à grandir, atteint le point b'. A partir de ce moment, on traverse une phase inverse de la première : le massif de remblai, d'abord triangulaire, puis trapézoïdal, devient pentagonal; tandis que celui du remblai, d'abord pentagonal, puis trapézoïdal, se trouve doréna-

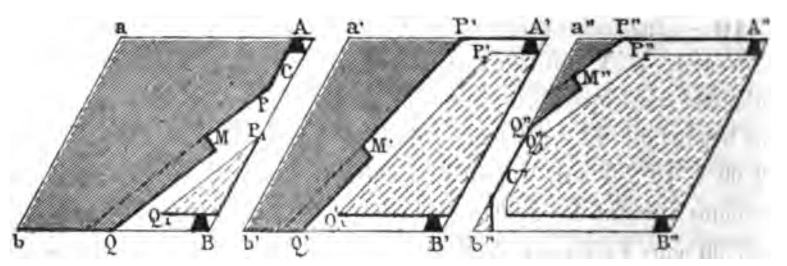


Fig. 359, 360, 361. Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupes verticales en travers).

vant réduit à la forme triangulaire. On ménage alors au toit une cheminée C'', qui sert à descendre, dans la traverse inférieure, les minerais de la taille $P''Q''$. Quand cette cheminée, de hauteur croissante, atteint le sommet a'', le dépilage est terminé.

Lorsque la traversée devient considérable (fig. 362, 363, 364), on en profite pour établir un chantier double, au lieu de l'atelier simple que nous venons de décrire. On perce, du haut en bas de l'étage, une cheminée C, alimentée de remblai par la traverse A*a*. On pratique deux rabatages opposés PMQ et P*mq*, qui écoulent leurs produits par les traverses QB et *qb*. Le massif de remblai PQ*q* grandit peu à peu, tandis que la cheminée va en se raccourcissant. Il ar-

dis que, dans le cas précédent, les figures 355 à 358 n'établissaient pas de différence importante à cet égard.

rive un moment où les talus rencontrent, l'une après l'autre, les ex-

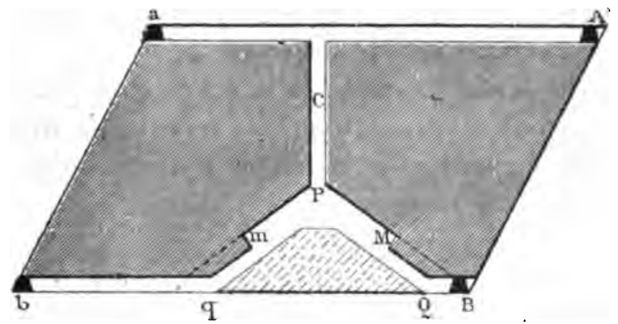


Fig. 362. Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupe verticale en travers).

trémités B et *b*. Le triangle du stérile devient alors un quadrilatère,

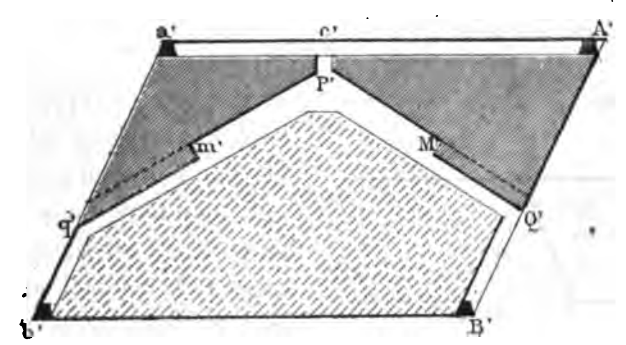


Fig. 363. Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupe verticale en travers).

puis un pentagone; les pentagones de minerai se réduisent, au

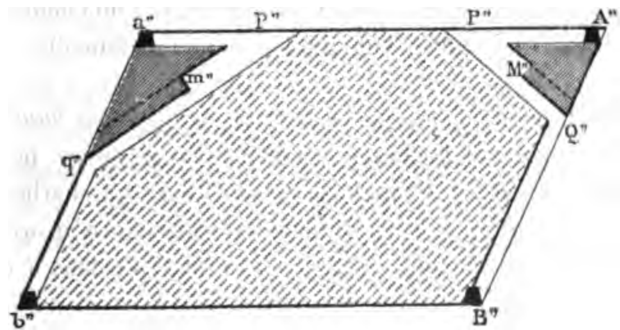


Fig. 364. Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupe verticale en travers).

contraire, à des quadrilatères. On ménage au toit et au mur, des cheminées Q'B' et $q'b'$, pour la descente du fer carbonaté. La progression de l'ouvrage finit par atteindre le point c', en achevant de supprimer la cheminée centrale. Le massif de remblai devient un hexagone; ceux de minerai se réduisent à des triangles. Ils achèvent de disparaître, quand leurs cheminées respectives s'accroissent jusqu'au sommet de l'étage.

511 — *Rabatage en long.* — Il existe entre ce mode et le précédent, la différence déjà rencontrée dans la méthode horizontale, qui comporte aussi les deux modes : en travers ou en long. Comme pour la méthode horizontale en long, il y a lieu de distinguer, dans le rabatage en long, plusieurs variantes, suivant l'importance de la traversée du gisement.

1° *Rabatage unique en largeur et en hauteur.* — Supposons d'abord le gîte assez mince pour que l'on puisse en prendre d'un seul coup toute la largeur; et, en outre, sa solidité assez marquée, et le remblai assez bon, pour permettre également d'aborder une hauteur importante.

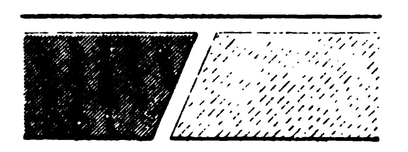


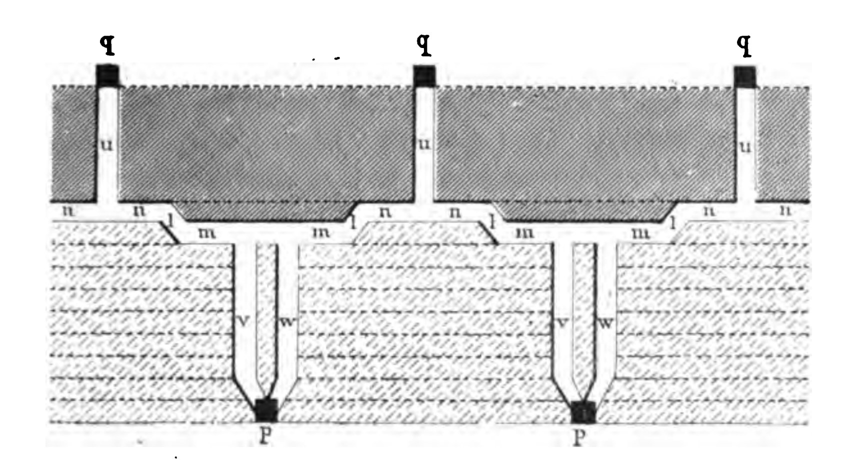
Fig. 365. Rabatage en long.
Houillère de Lalle
(coupe par le plan du dressant).

On partage alors la couche en étages (fig. 365), par des niveaux successifs, et l'on conduit, dans chacun d'eux, un rabatage sur une longueur indéfinie [1].

512 — 2° *Rabatage unique en largeur, multiple en hauteur.* — Supposons, en second lieu, une couche assez mince pour être prise d'un seul coup dans toute sa largeur, mais un charbon d'une solidité trop médiocre, ou un remblai de consistance insuffisante, pour affronter des hauteurs aussi considérables que dans le cas précédent.

[1] Cette méthode est suivie à Lalle, à Carmaux, et dans les parties inclinées de la couche des Littes, à la Béraudière.

On continue à fractionner la couche en étages ; mais chacun d'eux est subdivisé lui-même en zones horizontales (fig. 366), que l'on



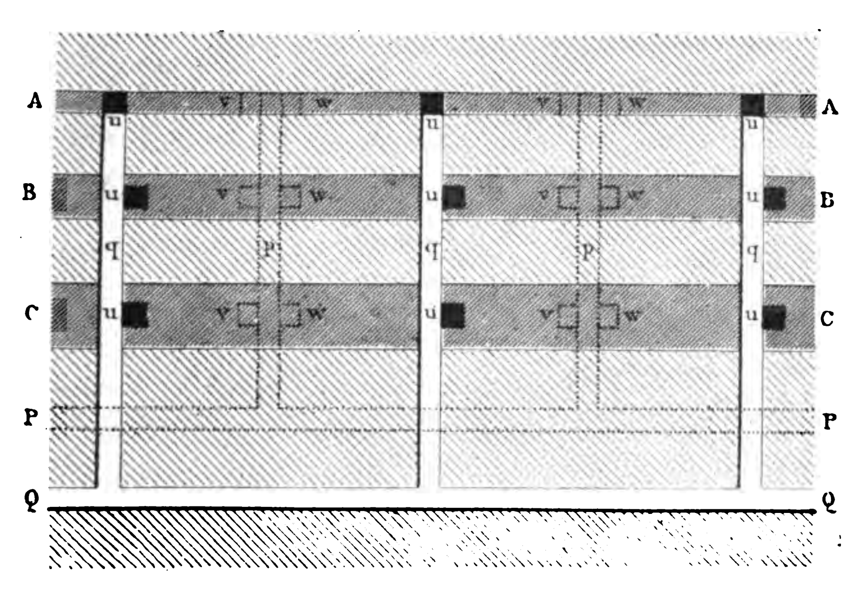


Fig. 366 et 367. Rabatage en long. Houillère de Brassac (coupes verticale en long et horizontale).

prend dans l'ordre ascendant, en montant, pour chacune d'elles, sur le remblai de la précédente.

Les figures (366 et 367) (¹) représentent la coordination que l'on établit entre plusieurs exploitations semblables, installées dans des couches minces rapprochées, de manière à comporter un aménagement commun, tout en restant séparées par des entre-deux, assez importants pour pouvoir être respectés. L'étage est déterminé par deux maîtresses-voies, P à la base, Q au sommet, que je suppose, pour fixer les idées, pratiquées dans la roche du mur. Des travers-bancs *p* partent de P, traversent toutes les couches, et aboutissent à celle du toit A, en déterminant, pour chacune d'elles, une divi-

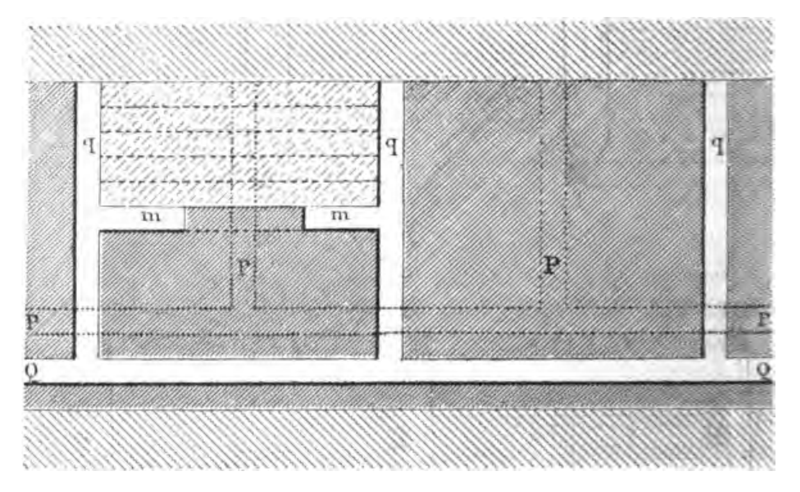


Fig. 368. Rabatage en long. Houillère de la Balance (Cransac) (coupe horizontale théorique).

sion en panneaux. D'autres travers-bancs *q*, branchés sur Q, aboutissent au milieu de ces panneaux. Des cheminées *u* servent à descendre dans les chantiers le remblai amené par Q et *q*. Des cheminées *v* permettent la descente du charbon, qui est évacué par *p* et P. D'autres couloirs *w* restent libres, pour le passage des hommes et de la ventilation, qui parviennent par les voies P et *p* dans les tailles. L'air monte ensuite à l'étage supérieur par des maillages spéciaux.

(¹) La description suivante se rapporte à la mine que possède la Compagnie du Creuzot à Brassac (Puy-de-Dôme).

Les tronçons *m* représentent ce qui reste de la taille précédente, conduite à ce niveau, et qui va incessamment en se raccourcissant par l'avancement du rabatage *l*. Il servent à conduire aux chemi-

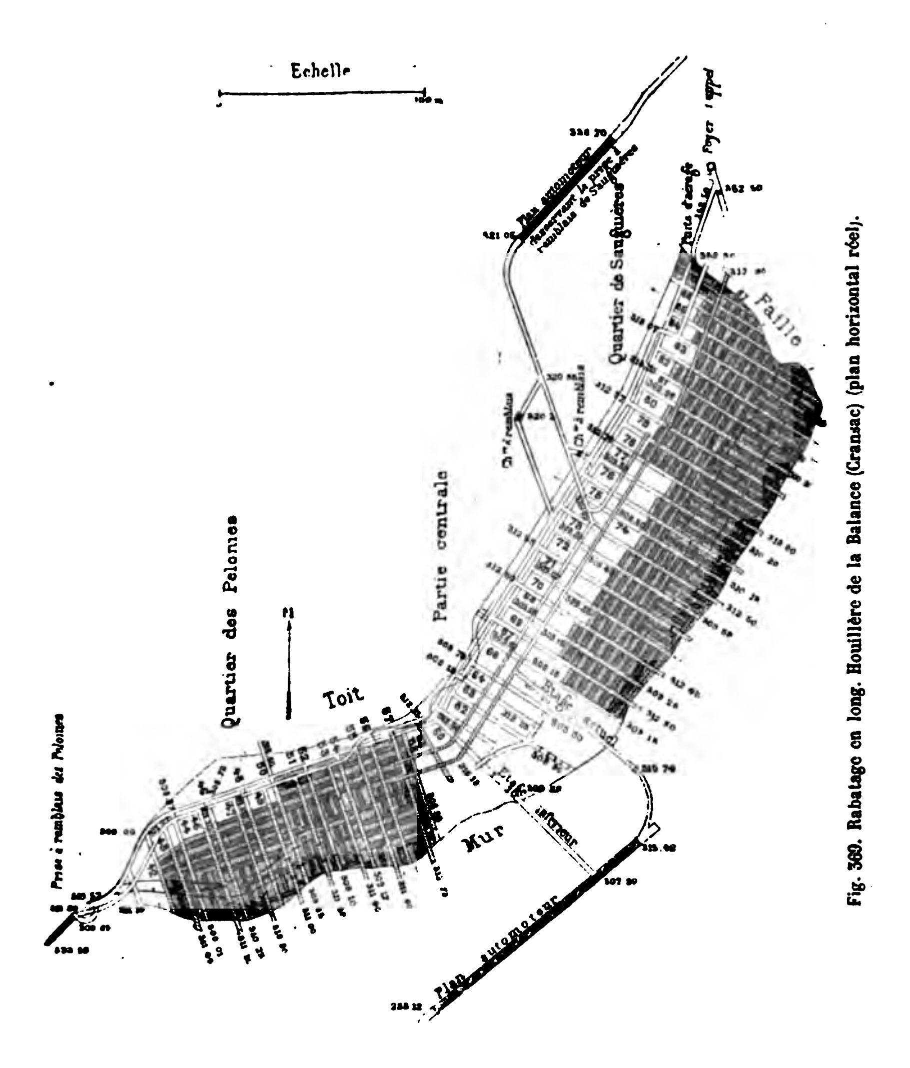


Fig. 369. Rabatage en long. Houillère de la Balance (Cransac) (plan horizontal réel).

nées *v* le charbon de ces rabatages. Les parties *n* figurent la taille nouvelle, attaquée à un niveau supérieur, en montant sur le remblai de la précédente. Elles s'allongent progressivement, et conduisent aux rabatages le remblai, descendu par les cheminées *u*.

518 — 3° *Rabatage multiple en largeur et en hauteur.* — Supposons, enfin, que la puissance devienne trop considérable, pour que l'on puisse prendre toute la largeur du gîte au moyen d'un seul rabatage.

On partage alors cette traversée en un certain nombre de rabatages contigus. On peut, en quelque sorte, passer, par la pensée, de la méthode précédente à celle-ci, en réduisant progressivement à rien les entre-deux [1].

L'étage est formé de deux tranches (fig. 368). On y pratique deux galeries d'allongement P et Q, que je suppose, pour fixer les idées, établies près du mur, la première en tranche inférieure, la seconde en tranche supérieure. La petite bande, comprise entre ces voies et la roche, est prise à part, comme dans plusieurs méthodes précédentes, et je n'y reviendrai pas. Sur ces galeries costresses, on branche des traverses : *p* au niveau inférieur, et *q* dans la tranche supérieure. Les premières sont projetées au milieu des panneaux déterminés par ces dernières. Ces traverses forment à leur tour des bases d'opérations pour des systèmes de recoupes contiguës, telles que *m*, qui sont déhouillées l'une après l'autre, en revenant du toit vers le mur.

Pour prendre une recoupe *m*, on attaque en première tranche par les traverses *p*, avec deux équipes de piqueurs qui se tournent réciproquement le dos. Lorsqu'on est parvenu sous les traverses *q*, on crève en seconde tranche, on verse du remblai par *q*, et l'on

[1] Cette méthode intéressante est appliquée à Cransac (mine de la Balance), avec les maîtresses-voies au toit (Bidache, *Bull. min.*, 2e, VII, 351). La figure 369 présente le plan *réel* de cette mine, en même temps que la figure 368 fournit le diagramme *théorique* de sa description.

C'est à dessein que j'ai rapproché ces deux sortes des figures, afin de montrer la différence qui sépare l'abstraction de la réalité, en raison des nombreuses causes secondaires de perturbation, que les circonstances opposent à la rigueur des conceptions. Les praticiens reconnaîtront que j'ai choisi, pour cet exemple, l'un des cas dans lesquels la différence est le moins accusée. La plupart du temps, il faut une certaine expérience, pour permettre de reconnaître, dans un plan de mine, l'application des descriptions qui ont été présentées d'une manière systématique dans le cours. On trouvera quelques autres types de plans réels dans les chapitres XLVII et XLVIII, consacrés aux accidents de mine.

La même méthode se rencontre encore à Cransac (mine de la bifurcation), non plus en tranches horizontales, mais avec des tranches inclinées.

revient en rabatage vers p. Pendant cette phase rétrograde, on écoule, comme tout à l'heure, les charbons par la recoupe inférieure jusqu'à la traverse p, d'où ils passent dans la voie-maîtresse P. En même temps, on remblaye cette recoupe inférieure par le rabatage, au moyen des terres que l'on amène par Q et q. On arrive ainsi à déhouiller toute la recoupe supérieure, en remplissant celle du fond ; après quoi l'on remblaye, en reculant, la recoupe supérieure elle-même. C'est alors que l'on passe au couple contigu de recoupes.

514 — 4° *Rabatage à double remblai.* — On a combiné [1], avec la méthode de rabatage, l'idée ingénieuse que nous avons déjà

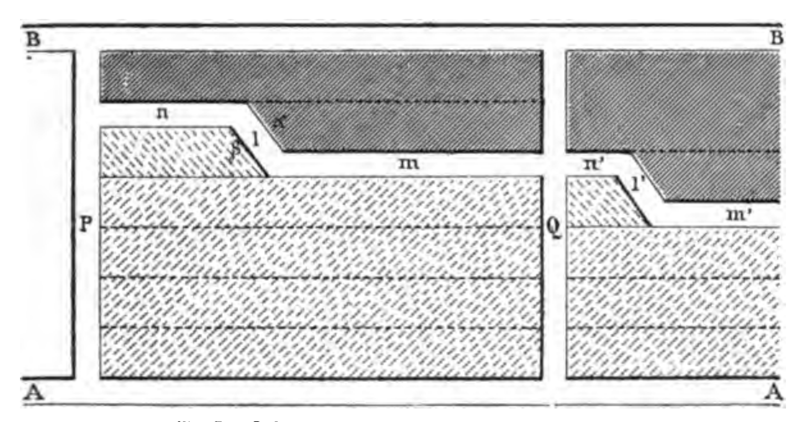


Fig. 370. Rabatage en long. Mine de blende d'Ameberg (coupe par le plan du filon).

rencontrée dans la méthode des gradins (n° 482), lorsqu'il s'agit d'exploiter un filon de matière précieuse. Elle consiste, ainsi que nous l'avons vu, à se servir temporairement de la partie la moins riche, comme remblai provisoire, en finissant cependant par tout sortir, au moyen de l'introduction d'un remblai définitif, absolument stérile.

Le filon est aménagé en étages par les niveaux A,B (fig. 370), et

[1] A la mine d'Ameberg (Suède), où l'on exploite ainsi un gîte de blende argentifère, interstratifié dans les masses de gneiss, et fournissant, par année, une dizaine de milliers de tonnes de minerai lavé.

en lopins par les montages P,Q. On conduit un rabatage *nlm*, en attaquant en *l* le minerai α, expédiant au jour le plus riche, après un triage sommaire, par *m*, Q, A; et gardant, du plus pauvre, une quantité suffisante pour accroître en β le massif de *remblai riche*, sur lequel est monté l'ouvrier, et qui va en s'allongeant de *n* vers *m*.

Quand l'ouvrage a percé dans le montage Q, on suspend l'abatage pour cet atelier. On vide, par P et A, tout le massif de remblai riche. Puis, l'on remplit la bande β avec du *remblai stérile*, amené du dehors par B et P; en conservant seulement la galerie *n* sur toute la longueur du lopin, pour qu'elle devienne la voie de débardage, par Q et A, du minerai que produira un nouveau rabatage, attaqué en P, au-dessus du précédent.

CHAPITRE XXIII

COMPARAISON DES MÉTHODES

—

§ 1

FILONS ET AMAS

515 — *Filons.* — Je me suis attaché, dans cette longue et laborieuse classification des méthodes d'exploitation, à joindre à la description technique de chacune d'elles, la discussion de ses avantages et de ses inconvénients, de manière à permettre de juger à quel ensemble de circonstances elle peut le mieux convenir.

Il y a lieu maintenant de renverser les termes du problème, et de prendre comme point de départ les conditions qui définissent le gîte, en cherchant à en déduire le choix de la méthode qui lui sera le mieux appropriée. Il ne saurait, en effet, être question d'établir, par une discussion générale, et d'une manière absolue, une sorte de suprématie au profit de l'une de ces méthodes, ou d'un petit nombre d'entre elles, sur toutes les autres. Elles ne deviennent préférables l'une à l'autre, que eu égard aux circonstances que présentera chaque gisement. On peut même très bien concevoir que ce soit, dans un cas donné, un égal progrès de part et d'autre, de voir deux mines échanger mutuellement leurs méthodes, mieux adaptées, après cette permutation, aux conditions des masses minérales qu'elles sont destinées à exploiter.

Rappelons tout d'abord que l'on distingue trois sortes de gîtes minéraux : les filons, les amas et les couches, et considérons successivement ces trois genres de formations.

516 — Les filons présentent, presque toujours, l'une ou l'autre des conditions qui recommandent l'emploi du remblai. Ordinairement, ils sont très minces; et la nécessité d'entailler les épontes fournit une surabondance de stérile. Trop souvent aussi, même avec une puissance plus satisfaisante, l'irrégularité de composition, l'abondance de la gangue, la présence des nerfs, amènera le même résultat. Le remblai se trouvant alors à pied d'œuvre, si l'on renonçait à s'en servir, au lieu de réaliser par là une économie, on serait conduit à s'imposer une dépense supplémentaire de roulage et d'extraction.

Quand le filon est à la fois puissant et homogène, il présentera souvent une valeur intrinsèque, par mètre cube, assez importante pour qu'il n'y ait pas d'hésitation possible à faire supporter au prix de revient l'accroissement qui résulte de l'introduction d'un remblai extérieur, pour assurer le complet enlèvement du minerai. Ce ne sera donc que dans des circonstances particulières, que l'on songera au foudroyage, et surtout à l'abandon de massifs.

517 — Le principe du remblayage une fois admis dans la grande majorité des cas, il restera à faire un choix, parmi les méthodes si nombreuses auxquelles il sert de base. Tout d'abord, on s'appuiera sur la distinction fondamentale qui nous a servi pour leur classification, suivant que le gîte est mince ou puissant (n° 456).

Si la puissance est faible, la composition, en général irrégulière, des filons exclut l'emploi des grandes tailles. L'ampleur de ces méthodes perdrait toute sa valeur dans ce dédale, et elle obligerait à enlever des parties inutiles. Il est, au contraire, ordinairement indispensable, pour connaître préalablement le gîte d'une manière suffisante, de l'embrasser tout d'abord dans un traçage, d'autant plus serré que l'irrégularité sera plus accusée. Il y a donc lieu de tenir compte, dans le choix de la méthode d'exploitation, de la nécessité de ce réseau.

La méthode des chambres comporterait deux manières d'être différentes, suivant que sa base d'opérations serait prise, dans ce traçage, en direction ou en inclinaison. Le premier mode serait ordinairement impraticable, à cause de la raideur du pendage, si

l'on ouvrait les chambres en montant [1]. Quant à les pratiquer en descendant, on ne pourrait voir dans cette conception qu'un pas rétrograde, nous ramenant aux époques primitives de l'art, lorsque les anciens ne connaissaient, pour ainsi dire, pas d'autre manière d'attaquer un filon, que d'y descendre par des ouvrages inclinés, très rapprochés les uns des autres.

Il n'en sera plus de même, si l'on se rattache, au contraire, à une fendue, avec des chambres pratiquées en chassage. On retrouve alors, dans ces conditions, la méthode horizontale en long, destinée aux faibles puissances (nº 500). Elle est, en effet, employée dans un certain nombre de filons, quoique d'un usage peu fréquent.

Il ne reste, d'après cela, comme solution normale pour les filons minces, que la méthode des gradins. Quant au choix à faire entre les deux modes qu'elle comporte, il a été déjà l'objet d'une discussion attentive (chap. XXI, § 5). Elle se résume, en ce que les gradins droits ne sont employés que très exceptionnellement, tandis que les gradins renversés constituent la presque totalité des applications.

518 — Considérons, en second lieu, un filon puissant. La méthode inclinée y est presque toujours impraticable en raison de leur raideur [2]. La méthode verticale et le rabatage ne s'y recommandent pas d'une manière générale, bien qu'applicables à des cas particuliers, dont j'ai cité des exemples. Il ne reste donc comme solution courante que la méthode horizontale. Ce ne sera pas, du reste, le cas de l'appliquer en long [3]. Ce mode perd en effet ici son principal intérêt, qui est, soit de passer, au moyen d'étroites recoupes, entre des nerfs réguliers, que l'on ne trouve pas aussi habituellement dans les filons que dans les dépôts sédimentaires; soit de pouvoir conduire des chantiers en grandes tailles, combinaison

(1) Cependant, nous avons vu un exemple analogue pour les anthracites de Pennsylvanie (nº 399).

(2) Cependant elle a figuré dans quelques quartiers de la mine d'étain de Montebras (Creuse).

(3) Sauf le cas de la faible puissance, pour lequel nous venons de la retrouver.

que nous venons d'écarter. Finalement donc, il ne subsiste que la méthode en travers, sans oublier, toutefois, que celle des gradins renversés est extensible aux grandes puissances (n° 487).

Nous pouvons donc dire, pour résumer ce qui concerne les filons, qu'il n'existe pour eux que deux méthodes vraiment fondamentales : celle des gradins renversés, quelle que soit la puissance, et, dans les cas seulement où celle-ci devient notable : la méthode en travers. Il faut mentionner cependant, comme rendant quelques services dans les filons minces, la méthode horizontale en long; et enfin reléguer dans des exceptions absolument rares, le système des gradins droits avec planchers (1), et la méthode verticale fondée sur le muraillement (2).

519 — *Amas.* — Nous avons reconnu (n° 498) qu'il n'existe, pour des amas d'une forme indéterminée, qu'une seule méthode d'exploitation : à savoir, la méthode horizontale. Il reste seulement à choisir, pour sa mise en œuvre, entre les trois principes fondamentaux, qui comportent également l'emploi des tranches horizontales, à savoir : la méthode des estaus (n° 388), celle du foudroyage (n° 435) et celle du remblayage (n° 498). Mais cette discussion de l'appropriation aux amas, des divers principes fondamentaux, ne diffère en rien de celle à laquelle nous arrivons maintenant pour les couches.

§ 2

COUCHES — CHOIX DU PRINCIPE FONDAMENTAL

520 — *Abandon de massifs.* — La question est bientôt résolue, en ce qui concerne le principe de l'abandon des massifs. Il se recommande, ainsi que nous l'avons dit, comme le plus propre à préserver la superficie. A la vérité, c'est sous la réserve d'une prudence suffisante dans la détermination des massifs, condition beaucoup trop négligée dans la pratique. On doit surtout blâmer, sous ce rapport,

(1) Andreasberg (n° 483).
(2) Almaden (n° 506).

la tendance à venir reprendre, en les affaiblissant d'une manière téméraire, une partie des piliers laissés par les anciens exploitants. Cette opération ne doit être effectuée, en général, qu'en transformant le principe lui-même, et se résignant à la chute du toit ou à l'emploi du remblai. Il devient possible, à ce prix, d'effectuer une reprise totale, quand elle en vaut la peine.

Le second point de vue est celui de la valeur. Des matières pierreuses communes ne comportent presque jamais d'autre mode rémunérateur. Mais, en dehors de ce cas, et de celui du sel gemme, en raison de son abondance et de sa solidité, il en existera peu, où la valeur intrinsèque du minerai ne soit pas suffisante, pour supporter l'emploi du foudroyage ou du remblayage.

521 — *Foudroyage.* — La question est bien plus complexe, qnant au choix à faire entre ces deux derniers principes. En ce qui concerne le foudroyage, on peut dire qu'il ne sera pas rationnel d'y avoir recours, en dehors de certaines conditions précises qu'il est facile d'énumérer.

En premier lieu : une puissance moyenne. Si elle était par trop réduite, le danger augmenterait, par la difficulté qu'éprouverait le mineur à se mouvoir, de manière à échapper à l'écrasée. Si elle dépasse 3 mètres, et surtout 4 mètres, on doit, en thèse générale, écarter le foudroyage en une seule tranche, sauf à admettre l'examen attentif de certains cas particuliers, dont nous avons rencontré des exemples (nº 431).

L'inclinaison ne dépassera pas 20 à 25°, afin de ne pas compliquer le porte-à-faux du toit, et la chute des matériaux fragmentés.

Le plafond doit être solide; sans quoi le danger devient inadmissible. Il convient que la roche soit nettement détachée du combustible, pour que l'on ait le temps de déterminer la tombée de ce dernier, et de le reculer, avant l'effondrement du toit.

Le charbon ne doit être sujet ni à l'inflammation, ni aux dégagements grisouteux; sans quoi le principe du foudroyage est contre-indiqué [1].

[1] Ce qui ne l'empêche pas, cependant, d'être appliqué sur une grande échelle en Angleterre dans de semblables conditions.

Si la profondeur devient suffisante (nº 448), le principe de l'éboulement est, non seulement acceptable, mais préférable au remblayage, au point de vue de la conservation de la superficie. Si cette hauteur est trop faible, il doit être rejeté, à moins que l'on ne se résigne au bouleversement complet de la surface.

En admettant que les conditions qui viennent d'être formulées se trouvent remplies, le foudroyage se recommande alors par de nombreux avantages : une production de gros plus marquée qu'après une série de petits tassements sur le remblai (1); l'abatage facilité; peu de traçage; peu de boisage, la houille n'étant pas fissurée, comme lorsqu'elle a travaillé sur le remblai; une économie notable du prix de revient, malgré une paye plus élevée attribuée à l'ouvrier, en raison du danger qu'il court.

522 — *Remblayage.* — Cependant ces avantages ne sont pas absolument décisifs, car on peut également y tendre avec des méthodes de remblayage judicieusement combinées. Il y a lieu principalement d'insister sur la distinction suivante : le foudroyage augmente le gaspillage, c'est-à-dire *la perte en matière sur le total du minerai renfermé dans le gîte;* le remblayage augmente la dépense, c'est-à-dire *la perte en argent sur le prix de revient de chaque tonne marchande.*

Si donc il s'agit d'un gîte assez limité, formé d'une substance de grande valeur, il n'y a pas à hésiter, et le remblayage s'impose. Si, au contraire, la matière est plus commune, et en quantité pour ainsi dire inépuisable, au moins pendant une durée qui dépasse les préoccupations les plus sages, la perte matérielle perd son intérêt devant le bénéfice à réaliser sur la vente de la tonne, et le foudroyage reprend ses avantages.

Il convient encore de remarquer, avec Callon, que la valeur de ces considérations déterminantes se modifie dans une certaine mesure, selon qu'il s'agit, soit d'une Compagnie-propriétaire, ou de valeurs de portefeuille à peu près immobilisées dans les mêmes

(1) C'est au point, que l'on se trouve parfois obligé de refendre après coup les morceaux, surtout dans les mines de fer, afin de pouvoir manier plus facilement ces fragments, et, en outre, de ne pas risquer de défoncer, par leur chute, les véhicules.

mains; soit, au contraire, d'une Société amodiataire, qui n'a qu'un temps pour jouir, d'après les conventions acceptées de part et d'autre, ou de titres de spéculation, pour lesquels on est pressé de réaliser des bénéfices, en vue d'en provoquer la hausse et de les écouler sur le marché. Est-il nécessaire d'ajouter que cette dernière hypothèse touche à des tendances dangereuses, capables d'amener la ruine complète de la mine, ou d'apporter du moins de grandes entraves pour son avenir?

523 — Les considérations précédentes peuvent se préciser davantage [1]. Appelons à cet effet g et g' le gaspillage proportionnel, suivant que l'on emploie, ou non, le remblai; r les frais de remblayage par tonne de houille; b le bénéfice réalisé sur le prix de vente, d'après l'état du marché. Puisque l'on retire, d'un poids P du gîte en place, le tonnage $P(1-g)$ à l'aide du remblayage, on réalisera, de ce chef, le bénéfice $Pb(1-g)$. Avec le foudroyage, on n'obtient que la quantité $P(1-g')$; mais le bénéfice par tonne n'est plus seulement b, il s'y ajoute la suppression des frais de remblayage r. Ce bénéfice devient, d'après cela, pour chaque tonne : $b+r$, et pour l'ensemble : $P(b+r)(1-g')$. Il y aura donc avantage à remblayer si l'on a :

$$P\,b(1-g) > P(b+r)(1-g'),$$

d'où l'on déduit :

$$b > \frac{1-g'}{g'-g}r.$$

Pour prendre un exemple, nous nous servirons des observations faites à Montceau-les-Mines, où l'on perdait 30 0/0 avec le foudroyage, là où le rabatage a réduit cette perte à 12 0/0, et la méthode horizontale à 5 0/0 (n° 509, note). Si nous admettons, en outre, la valeur de 1 fr. pour le prix du remblai par tonne de houille (n° 453), la formule précédente deviendra :

$$b > \frac{1-0{,}30}{0{,}30-0{,}05}\,1^{f},$$

[1] Amiot (*Annales*, 7e, IV, 139).

c'est-à-dire :

$$b > 2^{f},80.$$

Il suffit donc, dans ces conditions, de gagner par tonne au moins 2 fr. 80 avec le remblayage, et, par suite, 3 fr. 80 à l'aide du foudroyage, pour que ce dernier mode doive céder la place à l'emploi du remblai, en vue de réaliser le plus grand avantage total.

Or on trouve, dans le rapport général de M. de Ruolz sur la question des houilles (1), les moyennes suivantes, relatives à l'année 1865, et évaluées sur le carreau de la mine (2) :

	France.	Angleterre.
Prix de vente	13f,79	9f,25
Prix de revient.	9, 37	7, 30
Bénéfice. . . .	4f,42	1f,95

Leur comparaison avec le chiffre précédent expliquerait ainsi, d'une manière rationnelle, la surabondance des exploitations par foudroyage en Angleterre, et leur rareté relative en France (3).

(1) Tome III, page 3.

(2) La moyenne générale du prix de vente sur le marché de Londres était, dans la même année, de 30 fr. 55, y compris 8 fr. 95 pour les droits et frais accessoires; et de 36 fr. 21 sur celui de Paris, en y comprenant le droit d'octroi de 7 fr. 20.

(3) Le rapport de l'ingénieur en chef de la première division des mines de Belgique indique, pour l'année 1882 et l'ensemble des bassins de Mons, Centre et Charleroi, les moyennes suivantes :

Prix de revient.	9 fr. 76
Prix de vente.	10 11
Bénéfice.	0 fr. 35

Le résultat semblerait donc, ponr cet exercice, du reste exceptionnel, inverse de celui de la comparaison entre la France et l'Angleterre; mais cet ordre de considérations est primé, pour la Belgique, par la nature de sa formation houillère, composée en général de veines minces, tourmentées et grisouteuses, ce qui exclut *a priori* l'application du foudroyage dans la plupart des cas.

§ 3

COUCHES — CHOIX DE LA MÉTHODE D'EXPLOITATION

524 — *Foudroyage.* — Le principe fondamental une fois fixé, il reste à préciser la méthode d'exploitation. Supposons, en premier lieu, que l'on se soit déterminé en faveur du foudroyage. On se trouvera immédiatement circonscrit, d'après la puissance du gisement, dans l'une ou l'autre des deux catégories de méthodes, relatives aux gîtes minces ou aux gîtes puissants (n° 417).

Pour les couches minces, on tend beaucoup, en vue d'éviter les inconvénients du traçage, à développer l'emploi, relativement récent, du longwall.

Si, néanmoins, on adopte une méthode de traçage, la même préoccupation devra faire préférer les massifs longs aux massifs courts. Ces derniers, en raison de la prépondérance du traçage, des frais d'entretien, et de la complication de l'aérage, devront être écartés, sauf le cas spécial de l'absence complète de grisou, et d'une solidité exceptionnelle de la masse et du toit : conditions ordinairement réalisées par les minerais de fer. Ce traçage surabondant présente, il est vrai, l'avantage de procurer pendant longtemps des produits, sans s'éloigner beaucoup du puits.

L'on s'en tiendra donc, en général, aux massifs longs, en ayant soin de pratiquer des galeries aussi spacieuses que le comporte la solidité, tout en gardant des piliers largement suffisants, pour ne pas se trouver fatigués par la durée de l'exploitation. Ces conditions ne sont d'ailleurs nullement opposées l'une à l'autre. Quant au système qu'il conviendra d'adopter pour le dépilage, on peut faire remarquer que le mode en travers est inadmissible dans les gîtes grisouteux s'il est montant, et, dans les mines aquifères. s'il est descendant. Le dépilage en long échappe à ce double inconvénient. Mais il suppose, d'après la largeur de la taille, qui est la relevée même du pilier, une tenue meilleure pour le gîte, que celle qui pourra suffire avec des enlevures en travers, dont la largeur reste arbitraire.

Quant aux couches puissantes, le choix entre la méthode inclinée et la méthode horizontale dépendra surtout de la raideur du gîte, la première n'admettant que des inclinaisons modérées. Les tranches présenteront d'ailleurs dans ces méthodes plus de hauteur qu'avec le remblayage.

525 — *Remblayage.* — Supposons maintenant que l'on se soit arrêté au principe du remblayage. On commencera encore par circonscrire la question, d'après l'épaisseur du gisement (n° 456).

Pour les gîtes les plus minces, la méthode des grandes tailles s'impose, afin d'utiliser le remblai à pied d'œuvre. Nous avons, du reste, présenté la discussion de ses divers modes d'application (chap. XXI, § 3), avec des détails qui nous dispensent d'y revenir en ce moment. La méthode des chambres se recommande pour les puissances moyennes, et aussi les solidités moyennes. Quant à la méthode des gradins, elle ne constituera, pour les gîtes sédimentaires, qu'une exception, motivée par la raideur du plongement. Même alors, on emploie presque toujours le dispositif des maintenages (n° 471), qui concilie, avec le rôle protecteur des décrochements en gradins renversés, les facilités que procure l'aménagement général de la méthode chassante, pour le roulage de masses importantes.

Arrivant aux grandes puissances, nous mentionnerons à part, à titre d'exception, la méthode verticale, décisive pour les charbons les plus inflammables, mais contre-indiquée en dehors de ce cas. Le rabatage constitue également un cas relativement rare. Il exige un charbon particulièrement solide, l'absence de grisou, un bon remblai, une traversée importante si l'on veut appliquer le mode en travers.

La solution vraiment normale pour les couches puissantes, consiste dans l'emploi des deux méthodes : inclinée ou horizontale. La première est excellente pour les puissances et les inclinaisons moyennes. Elle est particulièrement recommandable pour les couches barrées par des nerfs bien caractérisés, assez importants pour être réservés sous forme d'entre-deux, ou abattus distinctement pour faciliter le triage.

En dehors de ces conditions, on s'arrêtera à la méthode horizontale. Le mode en long pourra être préféré, si la solidité du charbon et du toit en comporte l'emploi. Conduite en taille unique, elle admet, à l'inverse de la méthode en travers, l'aérage continu, et le roulage distinct pour les terres et pour le charbon. Appliquée avec des recoupes contiguës, elle se prête au passage entre les nerfs, que la méthode en travers hacherait complètement, au grand détriment de la pureté du combustible.

§ 4

DONNÉES NUMÉRIQUES

526 — Les comparaisons précédentes se maintiennent jusqu'à un certain point dans le vague. Mais cette indécision est dans la nature des choses, tant que l'on reste dans les généralités. Elle ne peut disparaître complètement que lorsque l'on se trouve, pour chaque cas, en face de données numériques précises. L'appropriation exacte d'une méthode d'exploitation à des circonstances définies, dépend en effet de bien des éléments. On devra s'y préoccuper, à la fois, de la puissance et de l'inclinaison; de la régularité des nerfs, et de la répartition de la richesse; de la solidité des épontes, de celle du minerai, de ses clivages; de la présence et de l'abondance du grisou, de l'inflammabilité du combustible; de la nature du remblai; du prix et des dimensions des bois disponibles dans la contrée; du taux des salaires, des habitudes de la population ouvrière; des moyens de transport, de l'étendue du marché accessible, de son activité commerciale, etc.

Pour faciliter les comparaisons, je placerai ici un tableau [1] relatif à un ensemble, à la fois assez large et assez homogène, de couches puissantes de combustible. Les trois colonnes qui définissent le gîte, se rapportent à la partie spéciale de ce gisement qui a

[1] Dressé à l'aide de celui qui a été inséré par M. l'ingénieur des mines Amiot, dans son important mémoire sur les houillères puissantes du centre et du midi de la France (*Annales*, 7e, IV, 162).

MÉTHODES	DÉSIGNATION			DIMENSIONS DU GITE			HAUTEUR DES ÉTAGES (mètres)	PROPORTION DE L'ABATAGE		PROPORTION DES SORTES	
	MINE	QUARTIER	COUCHE	INCLINAISON	PUISSANCE (mètres)	TRAVERSÉE (mètres)		TRAÇAGE	DÉPILAGE	GROS	MENU
Foudroyage	La Mure	»	Trois-Bancs	0,25	3,00	12,50	25,0	0,085	0,015	0,80	0,20
	Le Montceau	Lucy	»	0,30	12,00	40,00	33,0	0,047	0,953	»	»
Méthode inclinée	Cransac	Le Fraysse	Petite couche	0,34	4,00	12,00	7,0	0,100	0,900	0,27	0,73
	Épinac	Fontaine Bonnard	»	0,66	8,00	15,00	10,0	0,160	0,840	0,20	0,80
	Firminy	Monterrad	N° 2	0,52	8,00	21,00	7,0	0,184	0,816	0,08	0,92
	La Grand'Combe	Ravin	»	0,13	6,00	52,00	62,0	0,090	0,910	0,60	0,40
	La Péronnière	Sainte-Camille	»	0,20	10,00	38,00	2,5	0,140	0,860	»	»
	Montrambert	Devillaine	»	0,60	12,00	24,00	25,0	0,053	0,917	0,05	0,95
Méthode horizontale	Campagnac	»	»	0,25	7,50	30,80	2,5	0,224	0,776	»	»
	Commentry	»	»	0,14	12,00	90,00	20,0	0,042	0,958	0,10	0,90
	Cransac	Le Fraysse	Couche du toit	0,34	7,00	21,00	6,0	0,128	0,872	0,27	0,73
	Cransac	Le Fraysse	Grande couche	0,34	20,00	60,00	6,0	0.073	0,927	0,27	0,73
	Decazeville	Bourran	»	0,11	32,00	150,00	2,5	0.288	0,712	0,45	0,55
	La Béraudière	Crêt de Mars	»	1,00	34,00	48,00	14,0	0,040	0,960	0,35	0,65
	La Béraudière	Dyèvre	»	1,00	48,00	48,00	14,0	0,040	5,960	0,07	0,93
	Le Creuzot	»	»	1,00	22,00	22,00	20,0	0,478	0,522	0,18	0,82
	Le Montceau	Sainte-Élisabeth	»	»	13,00	100,00	15,0	0,098	0,902	»	»
	Le Montceau	Sainte-Marie	»	0,25	13,00	50,00	16,0	0,155	0,845	0,52	0,48
	Saint-Éloy	»	»	0,60	29,00	30,00	15,0	0,294	0,706	0,50	0,50
Méthode verticale	Decazeville	Bourran	»	0,11	32,00	150,00	6,0	0,304	0,696	0,45	0,55
	La Grand'Combe	Fournier	»	1,00	17,00	23,00	10,0	0,290	0,710	0,05	0,95
Rabatage	Bézenet	»	»	1,00	17,50	24,00	24,0	0,065	0,935	0,50	0,50
	Cransac	La Balance	»	0,23	32,00	150,00	4,5	0,092	0,908	0,45	0,55
	Cransac	Le Fraysse	Bifurcation	0,34	4,00	12,00	7,0	0,136	0,864	0,27	0,73
	La Mure	»	Grande couche	0,90	13,00	13,20	28,0	0,036	0,964	0,80	0,20
	Le Montceau	Sainte-Élisabeth	»	0,25	15,00	60,00	14,0	0,116	0,884	0,47	0,53

MÉTHODES	DÉSIGNATION			RENDEMENT JOURNALIER DU PIQUEUR (tonnes)			PRODUCTION (tonnes)		LONGUEUR TOTALE des fronts de taille (mètres)	SURFACE DE CHAMP par piqueur (mètres carrés)	DURÉE DU DÉHOUILLEMENT	
	MINE	QUARTIER	COUCHE	TRAÇAGE	DÉPILAGE	MOYENNE corrigée	quotidienne d'un champ de 500 m. en direction	annuelle du mètre carré de champ			d'une TRANCHE (jours)	d'un ÉTAGE (années)
FOUDROYAGE	La Mure	»	Trois-Bancs	0,9	2,7	2,6	110	»	350,0	»	»	1,35
	Le Montceau	Lucy	»	2,0	8,3	8,0	830	4,98	450,0	555	»	1,87
MÉTHODE INCLINÉE	Cransac	Le Fraysse	Petite couche	1,4	2,6	2,7	125	3,75	62,5	200	260	0,71
	Épinac	Fontaine Bonnard	»	1,8	3,6	2,3	400	16,00	362,5	67	57	0,46
	Firminy	Monterrad	N° 2	5.0	5,2	4,0	425	17,00	98,0	89	34	0,37
	La Grand'Combe	Ravin	»	2,9	3,8	3,7	400	1,91	2016,0	578	»	4,50
	La Péronnière	Sainte-Camille	»	»	»	»	200	12,00	62,5	200	60	0,65
	Montrambert	Devillaine	»	3,0	8,2	6,3	890	10,70	776,0	231	»	0,81
MÉTHODE HORIZONTALE	Campagnac	»	»	2,6	4,1	4,6	85	2,55	50,0	400	228	0,62
	Commentry	»	»	2,6	5,8	7,3	232	1,60	90,0	1125	405	11,00
	Cransac	Le Fraysse	Couche du toit	1,2	2,0	2,7	131	3,90	125,0	200	489	1,33
	Cransac	Le Fraysse	Grande couche	1,2	2,6	3,3	179	1,78	200,0	450	1460	4,00
	Decazeville	Bourran	»	1,4	2,2	1,9	216	2,16	100,0	300	394	1,79
	La Béraudière	Crêt de Mars	»	2,6	7,0	4,8	1750	21,00	1000,0	100	35	0,48
	La Béraudière	Dyèvre	»	2,6	8,7	6,6	437	5,30	200,0	500	140	2,00
	Le Creuzot	»	»	4,0	4,2	3,5	175	3,75	88,0	320	112	3,00
	Le Montceau	Sainte-Élisabeth	»	1,5	2,9	2,3	576	3,46	600,0	250	237	5,00
	Le Montceau	Sainte-Marie	»	1,7	3,0	2,8	388	2,90	364,0	317	248	5,00
	Saint-Éloy	»	»	1,4	3,0	2,9	675	13,50	450,0	66	38	0,62
MÉTHODE VERTICALE	Decazeville	Bourran	»	1,4	2,5	2,2	109	1,05	100,0	620	1642	4,50
	La Grand'Combe	Fournier	»	1,7	2,7	3,0	175	1,10	154,0	708	»	18,00
RABATAGE	Bézenet	La Balance	»	1,8	6,6	6,3	430	10,30	100,0	190	500	6,00
	Cransac	Le Fraysse	»	1,4	1,7	1,9	340	2,50	100,0	400	637	1,74
	Cransac	»	Bifurcation	1,4	2,6	2,5	310	9,30	144,0	70	»	0,31
	La Mure	»	Grande couche	0,7	1,6	1,5	16	»	12,5	»	»	8,50
	Le Montceau	Sainte-Élisabeth	»	1,9	4,0	3,6	267	2,67	132,0	227	373	4,00

fourni les autres données. Le rendement absolu du piqueur au dépilage, est présenté dans les conditions mêmes de la réalité. La colonne qui le suit est évaluée théoriquement, de manière à rendre ces résultats plus comparables, en supposant constamment que le piqueur fasse l'abatage et le boisage. Parfois, en effet, il effectue en outre le chargement, ou le remblayage ; ou bien, au contraire, il se trouve dégagé du soutènement par des boiseurs spéciaux. Les deux colonnes relatives à la production en tonnes, sont destinées à comparer l'activité journalière des diverses méthodes, en les ramenant toutes, par la pensée, à un champ uniforme de 500 mètres de longueur, sur la relevée qui se trouve indiquée, dans chaque cas, pour l'étage ; ou, en second lieu, d'une manière plus exactement comparable encore, en réduisant au mètre carré par an.

§ 5

RENDEMENT DU PIQUEUR

527 — L'un des éléments statistiques les plus essentiels pour l'appréciation d'une méthode d'exploitation, est le *rendement* du piqueur, c'est-à-dire le rapport du tonnage effectif de l'extraction à la population ouvrière. Le tableau précédent en présente déjà un assez grand nombre d'exemples, dont quelques-uns sont remarquables par leur valeur exceptionnellement élevée.

Il est extrêmement important de toujours préciser avec soin, si l'on rapporte la production totale au nombre des piqueurs à la houille, ou à la totalité de la population du fond, ou, enfin, à l'ensemble du personnel du jour et du fond. Les exemples suivants sont de nature à montrer quelles différences produit cette distinction [1]. Ils représentent le rendement *en tonnes par jour* [2].

[1] Pernolet, agenda-Dunod, 1882, p. 160; et renseignements inédits.

[2] Ces chiffres sont relatifs à la houille. En ce qui concerne le minerai de fer, on obtient, à Saint-Pierre d'Allevard, un rendement de 1,50 à l'abatage, et 1,12 pour la totalité du personnel.

MINES	RENDEMENT		
	PAR PIQUEUR AU CHARBON	PAR HOMME DU FOND	PAR PERSONNE DU FOND et DU JOUR
Bessèges (1871)	1,593	1,194	0,800
Lens (1882)	3,690	1,190	1,060
Bassin de la Loire (1866)	3,767	1,016	0,750
Seaton Delaval (Newcastle)	3,500	2,500	1,200

Pour étendre ces comparaisons, j'indiquerai encore les chiffres suivants, rapportés au personnel total du fond et du jour, et exprimés *en tonnes par an*.

Bassin du Nord (1866)	123,2	
Bassin du Pas-de-Calais (1866)	147,4	
Bassin de la Loire (1866)	226,0	
Ensemble de la France		159,0
Bassin de Mons	136,0	
Bassin du Centre belge	162,0	
Bassin de Charleroi	190,0	
Ensemble de la Belgique		144,0
Bassin de la basse Silésie (1869)	175,1	
Bassin de la Sarre (1860)	182,6	
Bassin de la Wurm (1869)	183,4	
Bassin de la Ruhr (1869)	226,0	
Bassin de la haute Silésie	240,5	
Ensemble de la Prusse (1869)		213,0
Ensemble de l'Angleterre (1869)		318,0

On remarquera l'énorme disproportion du chiffre relatif à l'Angleterre, plus que double de ceux de la France et de la Belgique. Cet écart tient principalement à l'extrême différence des conditions géologiques, que nous avons déjà fait ressortir (nº 376). En outre, il faut bien le dire, le rendement de l'ouvrier anglais se trouve ma-

joré, pour une part notable, par l'habitude constante de ne pas tenir compte, dans cette évaluation, de l'influence des chevaux employés au roulage, en nombre beaucoup plus considérable que sur le continent, où ils sont remplacés, en grande partie, par des herscheurs.

Le rendement a subi un accroissement notable depuis un demi-siècle, en raison du perfectionnement des méthodes et de l'outillage. Il n'était en Belgique que de 85 tonnes pour la période quinquennale 1831-1835 [1]. En 45 années, il s'est élevé, pour la période 1876-1880, à 148 tonnes par an [2].

528 — Si l'on combine les chiffres précédents avec les productions absolues de chaque région (n° 531), on peut admettre comme une moyenne assez convenable du rendement annuel de l'ouvrier des houillères, le chiffre de 270 tonnes. En supposant 300 journées de travail par an, la production journalière sera de 900 kilogrammes, et, pour des journées de 10 heures, le rendement sera de 90 kilogrammes à l'heure.

Or une machine à vapeur consomme par heure, pour entretenir une force de cheval, moins d'un kilogramme de houille, dans des conditions d'économie exceptionnelle ; ou, au contraire, plus de 10 kilogrammes, quand on sacrifie l'économie pour obtenir la simplicité et l'efficacité à tout prix. La pratique la plus courante reste comprise entre 2 et 4 kilogrammes. Si nous acceptons une moyenne de 3 kilogrammes, elle montre que le mineur fournit une quantité de combustible capable d'entretenir, pendant la même durée, une force de 30 chevaux. Comme, d'ailleurs, on admet que la capacité dynamique d'un manœuvre est au plus d'un dixième de cheval-vapeur, on voit que le travail du mineur se répand dans les diverses industries, par un équivalent égal à la force de 300 hommes.

La disproportion serait bien plus accusée encore, si l'on prenait

[1] Harzé, *Développement de l'industrie houillère en Belgique et dans les pays voisins*, (Bruxelles, 1882, p. 19).

[2] Dans ce même intervalle quinquennal, plus récent que les dates qui ont été employées dans le tableau précédent en vue de pouvoir y comprendre un plus grand nombre de régions, M. Harzé évalue le rendement annuel à 164 tonnes pour la France, 270 pour la Prusse, 282 pour l'Angleterre.

pour base de cette appréciation le seul piqueur du fond, et non pas le chiffre rapporté au personnel entier du fond et de la surface. Mais, en revanche, il importe de remarquer que cet aperçu ne concerne que la force brute, sans tenir compte ni des capitaux engagés, ni de la population nécessaire pour le transport de ce combustible sur le lieu de consommation, sa mise en œuvre, les relations commerciales, etc. Il suffit, à cet égard, d'avoir fait ressortir par un chiffre, qui n'a pas besoin de plus de précision, l'extrême fécondité de cette forme du travail de l'homme.

§ 6

PRODUCTION TOTALE ANNUELLE

529 — *Production de la France.* — La production totale annuelle des diverses régions de la France est résumée, pour l'année 1880, par le tableau suivant [1], dans lequel on a distingué les diverses régions naturelles de l'exploitation des combustibles minéraux, en groupant, d'un côté la houille et l'anthracite de l'autre les lignites.

[1] Statistique minérale.

TABLEAU.

RÉGIONS	PRODUCTION	PRIX MOYEN DE VENTE	NOMBRE D'OUVRIERS	NOMBRE DE MINES exploitées
	tonnes	francs	»	»
Houille et Anthracite.				
Nord et Pas-de-Calais	8 545 912	11,70	43 731	36
Loire.	3 637 845	15,18	17 992	53
Gard	1 948 186	12,19	11 885	22
Bourgogne et Nivernais.	1 548 185	13,77	10 182	15
Tarn et Aveyron.	985 903	12,47	5 293	21
Bourbonnais.	967 131	13,18	5 317	14
Auvergne	288 330	12,64	1 892	13
Graissessac	243 857	13,39	1 701	6
Ronchamp	187 093	15,60	1 369	3
Ouest.	174 611	15,48	1 806	16
Creuse et Corrèze	146 526	12,94	1 362	6
Alpes occidentales	127 135	10,96	1 292	65
Les Maures	4 039	19,43	96	4
Totaux et moyennes pour la Houille et l'Anthracite. . . .	18 804 767	12,83	103 918	274
Lignite.				
Provence	493 589	9,70	2 753	21
Languedoc et Comtat.	31 449	8,53	263	20
Vosges méridionales	17 294	10,84	98	2
Guyenne	8 103	11,28	74	10
Haut-Rhône.	4 787	13,33	118	7
Subpyrénéen.	1 575	9,50	9	1
Totaux et moyennes pour le Lignite.	556 797	9,72	3 315	61
TOTAUX ET MOYENNES GÉNÉRAUX POUR LES COMBUSTIBLES MINÉRAUX.	19 361 564	12,74	107 233	335

Indépendamment de cette production, la France a importé dans la même année les nombres de tonnes suivants :

Belgique	5 276 700
Angleterre	3 404 200
Allemagne	1 259 200
Pays divers	1 800
Total de l'importation	9 941 900

En revanche elle a exporté les quantités suivantes :

Italie	195 000
Belgique	128 000
Suisse	125 000
Allemagne	44 000
Pays divers	111 000
Total de l'exportation	603 000

L'excès de l'importation sur l'exportation est donc de 9 338 900 tonnes. En l'ajoutant au chiffre de la production : 19 361 600, on obtient pour la consommation totale 28 700 500 tonnes. La production indigène n'alimente par suite la consommation que pour 67,1 °/₀, ou les deux tiers environ ; la France restant, pour l'autre tiers, tributaire de l'étranger.

Encore est-il nécessaire de faire remarquer que, sur cette consommation, les mines de toutes natures brûlent, pour leur propre compte, 1 159 000 tonnes, ce qui réduit d'autant la production totale, et donne, pour la quantité effectivement versée dans les autres industries : 18 202 000 tonnes.

635 concessions houillères figurent nominalement dans la richesse minérale de la France, où elles occupent 5677 kilomètres carrés. Mais 335 seulement, c'est-à-dire 53 °/₀, ont été en activité, pendant l'année 1880, pour fournir la production précédente.

420 puits d'extraction ont fonctionné activement, 49 autres se trouvaient en fonçage.

1425 machines à vapeur, représentant une force totale de 68 366 chevaux, ont été employées pour cette extraction.

530 — A côté de la production nationale en combustible, se placent d'autres branches de l'industrie extractive. On peut les résumer par le tableau suivant :

SUBSTANCES	PRODUCTION EN MILLIERS DE TONNES	VALEUR EN MILLIERS DE FRANCS	NOMBRE DES EXPLOITATIONS	NOMBRE TOTAL D'OUVRIERS
FRANCE				
Combustibles minéraux	19 362	246 687	336	107 200
Tourbe	248	2 755	867	29 000
Asphalte, schiste bitumineux	144	1 023	24	660
Minerais de fer	2 874	14 909	284	8 040
Pyrite de fer et soufre	133	2 114	8	620
Minerais métalliques	53	4 690	58	4 390
Sel gemme (¹)	333	11 814	23	250
Total pour la France	23 147	283 992	1 600	150 160
ALGÉRIE				
Minerais de fer	614	6 778	15	2 910
Minerais métalliques	15	1 506	11	990
Sel gemme (¹)	16	54	7	»
Total pour l'Algérie	645	8 338	33	3 900
TOTAL GÉNÉRAL	23 792	292 330	1 633	154 060

(¹) Il convient d'ajouter, pour les marais salants, 367 milliers de tonnes de sel marin, valant 6 719 000 francs, et occupant 8 800 ouvriers saulniers, répartis en 422 exploitations; et, pour l'Algérie, 19 000 tonnes, valant 420 000 francs, en 16 exploitations.

531 — *Production du monde entier.* — Les données analogues relatives à la production du monde entier sont présentées dans le tableau suivant (²):

(²) Dressé d'après la statistique minérale de 1880, page 194. On peut consulter sur le même sujet le travail de M. l'ingénieur des mines Badoureau (*Annales*, 7ᵉ, XIV, 597, et celui de M. Coignet (*Bull. min.*, 2ᵉ, XII, 296).

RÉGIONS	MILLÉSIME	COMBUSTIBLES		BITUME, PÉTROLE		MINES DE FER		MINES DE PLOMB		MINES DE CUIVRE	
		PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX
		tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs
Grande-Bretagne . . .	1880	149 020 901	10,55	850 371	»	18 296 440	9,08	73 329	281	52 900	91
États-Unis	1879	60 705 500	»	2 558 500	»	»	»	74 000	»	»	»
Empire d'Allemagne. .	1879	53 470 700	5,65	26 000	13,10	4 245 000	6,81	149 100	150	308 800	32
France et Algérie . . .	1880	19 361 564	12,74	144 022	7,10	3 488 409	6,17	18 056	209	18 223	48
Belgique et Luxembourg	1880	16 866 698	10,06	»	»	1 868 299	3,27	5 434	164	»	»
Autriche-Hongrie . . .	1879	14 926 059	6,60	2 972	»	952 312	7,34	10 960	268	109 883	36
Russie	1879	2 917 353	»	351 700	»	980 257	»	34 375	»	103 985	»
Océanie	1879	1 768 505	14,92	33 007	»	122	»	7 990	320	6 311	»
Espagne	1875	694 081	12,45	»	»	520 095	5,37	333 058	220	802 794	37
Japon	1875	395 850	25,42	840	»	»	»	»	»	»	»
Suède et Norwège. . .	1880	204 755	»	»	»	781 205	»	13 588	»	66 880	»
Italie.	1879	131 318	9,80	12 575	»	186 857	11,25	41 301	201	20 751	54
Portugal	1880	12 387	24,62	»	»	40 372	27,75	2 213	125	7 281	»
Grèce	1879	7 500	»	37 500	»	»	»	34 000	»	»	»
Pays divers.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	55 590	»
LE MONDE ENTIER.	»	320 483 171	»	1 459 047	»	31 359 368	»	796 807	»	1 643 398	»

RÉGIONS	MILLÉSIME	MINES DE ZINC		PYRITE ET SOUFRE		MINES D'ÉTAIN		MINES DE MANGANÈSE		MINES D'ANTIMOINE	
		PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX
		tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs
Grande-Bretagne . . .	1880	27 961	89	32 184	18,03	13 944	1 217	2 882	49	»	»
États-Unis	1879	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Empire d'Allemagne . .	1879	589 500	17	106 100	13,26	»	»	5 200	40	30	153
France et Algérie . . .	1880	13 115	33	132 288	15,84	»	»	9 652	55	1 781	260
Belgique et Luxembourg	1880	38 805	58	7 913	21,23	»	»	»	»	»	»
Autriche-Hongrie . . .	1879	20 187	30	64 963	17,10	598	»	»	»	2 304	»
Russie	1879	61 376	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Océanie	1879	»	»	»	»	24	»	»	»	580	»
Espagne	1875	100 174	52	402 607	20,13	3	1 187	14 710	80	»	»
Japon	1875	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Suède et Norwège . . .	1880	43 452	»	»	»	»	»	1 386	»	»	»
Italie.	1879	73 411	53	379 671	»	2	1 200	7 093	27	470	212
Portugal	1880	»	»	»	»	»	»	14 226	86	19	290
Grèce	1879	63 000	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pays divers.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Le Monde entier.	»	1 030 981	»	1 030 504	»	14 571	»	55 149	»	5 184	»

RÉGIONS	MILLÉSIME	MINES D'OR ET D'ARGENT		MINES DE MERCURE, NICKEL, COBALT, ARSENIC, PLATINE, ETC.		SEL MARIN ET SEL GEMME		TOTAL	
		PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	VALEUR
		tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs
Grande-Bretagne	1880	15	4 540	5 874	195	2 684 675	12,12	171 061 476	1 819 864 157
États-Unis	1879	»	»	»	»	»	»	60 779 500	»
Empire d'Allemagne	1879	22 302	219	822	»	667 200	24,20	59 680 754	398 145 927
France et Algérie	1880	»	»	200	50	720 610	23,39	23 907 920	296 544 939
Belgique et Luxembourg	1880	»	»	39 198	»	»	»	18 787 149	179 295 750
Autriche-Hongrie	1879	19 653	»	1 561	»	406 054	»	16 556 704	210 141 393
Russie	1879	16 749 260	»	170 180	»	»	»	22 186 637	»
Océanie	1879	»	»	»	»	»	»	1 809 899	»
Espagne	1875	36 380	110	29 484	470	731 382	25,60	2 584 361	108 781 987
Japon	1875	»	»	»	»	»	»	396 690	10 180 680
Suède et Norwège	1880	»	»	34 881	»	»	»	1 220 229	»
Italie	1879	11 109	»	132	»	592 552	21,07	1 197 624	57 310 161
Portugal	1880	»	»	»	»	»	»	245 515	3 145 100
Grèce	1879	»	»	»	»	»	»	186 000	»
Pays divers	»	»	»	»	»	»	»	»	»
LE MONDE ENTIER	»	»	»	282 332	»	5 657 000	»	380 657 091	3 109 113 607

Ces 380 657 milliers de tonnes de matières premières ont été livrés pour 3109 millions de francs à l'industrie métallurgique, qui en a retiré 29 799 milliers de tonnes de produits marchands, vendus eux-mêmes 2934 millions de francs ; à quoi il faut ajouter la valeur de la force motrice [1] pour les machines fixes, les locomotives, ou la navigation, ainsi que celle du chauffage [2].

532 — La production suit, avec le temps, une progression excessivement rapide. On en peut juger, pour la France, par le tableau suivant, qui comprend huit périodes décennales [3] :

1789	240 000
1802	844 180
1811	773 694
1820	1 093 658
1830	1 862 665
1840	3 003 382
1850	4 433 567
1860	8 309 622
1870	13 330 308
1880	19 361 564

Cette marche progressive a été également marquée en Angleterre, au point d'y faire naître une sorte de panique, relativement à la durée probable des houillères, menées d'un pas aussi rapide vers leur épuisement. Des appréciations pessimistes rapprochant ce terme jusqu'à un, deux ou trois siècles, étaient visiblement empreintes de la plus grande exagération. D'autres calculs, qui reportaient le

[1] Cette puissance, *pour la France seule* (y compris l'Algérie), représente un total de 3 382 413 chevaux-vapeur.

[2] La statistique officielle a établi que, sur 522 mines de toutes natures, exploitées en 1880, tant en France qu'en Algérie, 296, soldant leur budget en bénéfice, ont présenté un revenu net imposable de 47 651 000 francs ; et 226, reconnues en déficit, ont accusé une perte de 7 796 000. Dans ce dernier chiffre, figurent beaucoup de travaux préparatoires destinés à féconder l'avenir. Si, cependant, on les défalque purement et simplement du bénéfice, il se solde par 40 millions de francs environ, pour l'ensemble de l'industrie minière nationale.

[3] Ces chiffres ont été évalués d'une manière uniforme d'après le territoire possédé par la France de 1815 à 1870.

terme dans un éloignement démesuré, péchaient par excès contraire. Une enquête officielle, dans laquelle on prit pour bases de l'exploitabilité, les puissances supérieures à $0^m,30$ et les profondeurs moindres que 1200 mètres, indiqua une durée probable d'environ 1200 ans. Depuis lors, les appréciations sont devenues beaucoup plus favorables encore. Il faut d'ailleurs songer que le terrain houiller de l'Angleterre n'est pas même le dixième de celui du monde entier, ou seulement des États-Unis à eux seuls [1]. L'humanité a donc encore de longs jours devant elle, avant d'en être réduite à chercher, pour la production de la force et des métaux, des succédanés du charbon. Mais l'équilibre entre la vieille et la nouvelle Angleterre pourra, bien avant d'atteindre l'entier épuisement de ce que le piqueur anglais appelle *le roi charbon*, éprouver d'importants ébranlements. Stephenson avait coutume, en effet, de dire qu'au lieu de faire asseoir le Président des Communes sur un sac de laine, l'Angleterre devrait prendre désormais pour symbole de sa puissance une tonne de houille.

[1] Les superficies houillères d'un certain nombre de régions ont été évaluées par Amstead d'une manière approximative en kilomètres carrés :

Belgique	1 350
Bohême	2 600
France	5 200
Allemagne	31 000
Angleterre	33 000
Amérique anglaise	47 000
États-Unis (au minimum)	294 000
Total	414 000

c'est-à-dire de 4 à 500 mille kilomètres carrés, ou de 40 à 50 millions d'hectares. D'après les appréciations les plus récentes, M. Levasseur (*Génie civil*, III, 524) porte à 490 700 kilomètres carrés, pour l'Amérique, la superficie probable du terrain renfermant des veines de houille. Le seul bassin du Missouri présenterait 202 000 kilomètres carrés.

§ 7

PRIX DE REVIENT. — COMBUSTIBLES

533 — *Houille.* — Callon admet [1], comme une limite inférieure du prix de revient de la tonne de houille, que de rares exceptions pourront seules franchir, un minimum de 5 francs dans les meilleures conditions : couches moyennes, régulières, plates, exploitées sans remblai. Ce prix s'élèvera facilement à 6 francs, et même plus, sans sortir des procédés du foudroyage.

On descendra rarement, avec le remblayage, au-dessous de 7 fr. 50 pour les gîtes minces, et ce chiffre pourra dépasser 10 et 11 francs, en raison du pendage et des accidents. Avec les couches puissantes, on peut approcher d'un minimum analogue de 7 fr. 50, qui s'élèvera aux environs de 9 francs, si elles se rapprochent de la verticale.

En appréciant d'ailleurs approximativement les proportions de ces diverses sortes pour le monde entier, Callon admet une moyenne générale comprise entre 7 francs et 7 fr. 50.

Le prix de revient est nécessairement des plus variables d'une mine à l'autre, même parmi celles qui exploitent des matières similaires. Il n'en est que plus essentiel de mettre sous les yeux du lecteur un certain nombre d'exemples, choisis parmi les plus importants, pour montrer la manière dont se décompose ce total, suivant les divers chapitres de dépenses, pour le groupement desquels les diverses Compagnies adoptent chacune des usages particuliers [2].

534 — Le prix de revient de la Compagnie houillère de Bessèges s'établit de la manière suivante pour la tonne de houille [3] :

[1] *Cours d'exploitation*, I, 422. Ces appréciations se rapportent à l'époque de la publication de cet ouvrage, en 1874.

[2] Nous n'envisageons dans ce chapitre que ce qui se rapporte à l'exploitation souterraine. On trouvera plus loin (chap. XXIV) quelques exemples relatifs aux travaux à ciel ouvert.

[3] Renseignements dus à l'obligeance de M. Marsaut.

Prix de revient moyen des dernières années, calculé sur le charbon brut sortant de

	fr.	
Abatage	2,924	
Sortage	0,667	
Avancement	0,647	
Abatage et sortage	4,238	4,238
Travaux d'entretien	0,221	
Travaux préparatoires	0,905	
Faux frais	0,890	
Épuisement	0,009	
Aérage	0,079	
Remblayage	0,150	
Éclairage intérieur	0,106	
Graissage des wagons	0,014	
Entretien et consommation des machines d'extraction	0,143	
Travaux et frais divers	2,517	2,517
Piquets	0,424	
Bois divers	0,110	
Traverses	0,029	
Rails	0,048	
Fers divers	0,081	
Paniers	0,026	
Câbles	0,018	
Objets divers	0,005	
Main-d'œuvre	0,126	
Matériel	0,867	0,867
Frais généraux		0,406
Libéralités		0,600
Frais de chargement		0,290
Travaux d'aménagement		0,316
PRIX TOTAL		9,234

la mine. Par suite du renchérissement de la main-d'œuvre, ce prix est appelé à osciller désormais entre 10 et 11 francs, résultat considéré comme satisfaisant, attendu que l'extraction provient, pour plus de moitié, de couches de 0^m,40 à 0^m,60 de puissance.

535 — Le prix de revient de la Compagnie des mines de Blanzy s'établit de la manière suivante pour la tonne de houille [1] :

				francs.	francs.
Éclairage	Main-d'œuvre			0.047	0,118
	Magasin			0,071	
Piquage	Main-d'œuvre			1,329	1,365
	Outillage			0,036	
Roulage	Main-d'œuvre			0,376	0,882
	Frais d'équipage	Main-d'œuvre	0,071	0,200	
		Magasin	0,129		
	Entretien des chemins de fer	Main-d'œuvre	0,141	0,188	
		Magasin	0,047		
	Entretien des berlines, câbles, etc.	Fournitures	0,094	0,118	
		Graissage	0,024		
Montage	Main-d'œuvre			0,212	0,776
	Service des machines	Main-d'œuvre	0,188	0.329	
		Entretien	0,106		
		Graissage	0,035		
	Entretien des cages, culbuteurs, etc.			0,071	
	Cordages	Usure des câbles	0,094	0,106	
		Fournitures	0,012		
	Entretien des guidages	Main-d'œuvre	0,035	0,058	
		Magasin	0,023		
Soutènement	Boisage	Main-d'œuvre	0,576	1,352	1,364
		Magasin	0,776		
	Muraillement			0,012	
Dépenses générales de l'exploitation	Incendies	Main-d'œuvre	0,071	0,095	0,931
		Magasin	0,024		
	Entretien des travaux intérieurs	Main-d'œuvre	0,506	0,753	
		Magasin	0,247		
	Aérage	Main-d'œuvre	0,047	0,071	
		Magasin	0,024		
	Triage des rochers			0,012	
Épuisement	Main-d'œuvre			0,106	0,188
	Entretien et graissage			0,082	
Remblais	Main-d'œuvre			0,682	0,954
	Frais d'équipage	Main-d'œuvre	0,059	0,189	
		Magasin	0,130		
	Fournitures	Chariots	0,059	0,083	
		Graissage	0.012		
		Divers	0,012		
Dépenses directes de l'intérieur					6,578

[1] Renseignements dus à l'obligeance de M. Mathet.

Année peu antérieure à 1882. Ce prix de revient ne comprend pas les frais de premier établissement, tels que constructions nouvelles, installations de machines et appareils, acquisitions de terrains, etc. On l'établit au Montceau en centimes par hectolitre. Nous l'avons converti en francs par tonne, en admettant pour l'hectolitre un poids de 85 kilogrammes.

	francs.
Report	6,578
Frais d'administration (partie industrielle)	0,330
Recherches courantes	0,271
Travaux d'avenir	0,529
Transport du puits au port	0,529
Criblage	0,365
Lavage	0,129
Redevances, impositions, indemnités de terrain, entretien des bâtiments, etc.	1,059
Frais généraux, gratific., pertes commerciales, escompte, etc.	2,282
PRIX TOTAL	12,072

586 — Le prix de revient de la Compagnie de Commentry-Fourchambault s'établit de la manière suivante, pour la tonne de houille, en le limitant aux *frais spéciaux* ([1]) :

DÉPENSES	PUITS DE LA FORÊT — 1881-1882	PUITS DU 12-JUILLET — 1882-1883
	francs	francs
Abatage	0,884	2,322
Boisage	0,435	1,021
Roulage, montage	0,285	0,894
Remblais	0,439	0,104
Machine d'extraction	0,060	0,092
Triage et chargement	0,186	0,360
Main-d'œuvre ordinaire	*2,289*	*4,793*
Travaux extraordinaires de l'intérieur	»	0,457
Travaux extraordinaires de l'extérieur	0,007	0,002
Main-d'œuvre extraordinaire	*0,007*	*0,459*
TOTAL DE LA MAIN-D'ŒUVRE	2,296	5,252
Boisage	0,851	1,970
Roulage et montage	0,306	0,872
Charbon pour la machine	0,049	0,130
Fournitures pour la machine	0,020	0,028
Manutention extérieure	0,041	0,206
Fournitures ordinaires	*1,267*	*3,206*
Fournitures extraordinaires	»	*0,071*
TOTAL DES FOURNITURES	1,267	3,277
SURVEILLANCE	0,114	0,087
FRAIS GÉNÉRAUX ET AUTRES	mémoire	mémoire
Prix total	**3,677**	**8,616**

([1]) Renseignements dus à l'obligeance de MM. Mony et H. Fayol.

La division de la Forêt est exploitée d'après la description qui a été donnée au n° 501, et celle du 12-Juillet par la méthode mixte du n° 498. Ces deux types sont, d'un côté le plus favorable, et de l'autre le plus désavantageux, des mines de Commentry. On en a présenté ici deux exercices, distincts, parce qu'ils ont fourni approximativement le même tonnage dans les deux fosses. Les différences d'un exercice à l'autre, pour chacune de ces deux exploitations, sont d'ailleurs à peine sensibles. Elles se trouvent dans un sens favorable pour le premier, et désavantageux pour le second. Les deux divisions exploitent la grande couche, qui est régulière à la Forêt sur 10 à 15 mètres de puissance, et très

537. — Le prix de revient de la Société des mines de Lens s'établit de la manière suivante pour la tonne de houille ([1]) :

Bois.	1,006	
Fer	0,427	
Huile, graisse.	0,105	
Consommation de charbon	0,249	
Fourniture des ateliers.	0,027	
Objets divers	0,246	
Consommations	2,060	2,060
Salaires		3,938
Chargement et triage.	0,097	
Pesage	0,024	
Chargement et déchargement des terres	0,010	
Transport par chemin de fer. . . .	0,365	
Rivage.	0,018	
Dépôt	0,002	
Entretien des bâtiments et des routes	0.106	
Entretien des propriétés étrangères.	0,021	
Frais indirects.	0,643	0,643
Frais généraux ([2]). . . .		*mémoire*
PRIX TOTAL . . .		6,641

538 — Le prix de revient de la Compagnie de Montrambert et la Béraudière s'établit de la manière suivante, dans qua-

variable au puits du 12-Juillet, avec une puissance qui atteint 5 mètres par places, et se réduit à rien dans d'autres.

Les prix s'expriment à Commentry en centimes par hectolitre. On les a ici réduits en francs par tonne, en supposant, d'après la donnée habituelle de cette mine, que l'hectolitre pèse 80 kilogrammes.

([1]) Renseignements dus à l'obligeance de M. Reumaux.

Exercice 1882-83. Fosse n° 2.

([2]) Contributions, redevances, assurances, loyers, amortissements, employés supérieurs, commis, frais de bureau, d'administration, de vente, de contentieux, gratifications, secours, culte, écoles, frais divers.

tre de ses exploitations principales, pour la tonne de houille (¹) :

DÉPENSES	GRANDE COUCHE Béraudière [2]	GRANDE COUCHE Montrambert [3]	TROISIÈME BRULANTE Béraudière [4]	COUCHE DES LITTES Béraudière [5]
Gouverneurs	0,136	0,129	0,170	0,205
Piqueurs	0,863	1,087	1,068	1,095
Boiseurs	0,505	0,527	0,505	0,309
Transports	0,563	0,600	0,798	0,556
Remblayeurs	0,689	0,512	0,933	0,471
Mineurs	0,195	0,152	0.087	0,292
Manœuvres	0,125	0,051	0,159	0,066
Main-d'œuvre intérieure	*3,076*	*3,058*	*3,718*	*2,994*
Machinistes	0,068	0,078	0,068	0,073
Receveurs	0,064	0,117	0,064	0,117
Manœuvres aux remblais	0,332	0,311	0,332	0,004
Forgerons	0,084	0,081	0,084	0,071
Benniers et charpentiers	0,058	0,071	0,058	0,067
Grêleurs et trieurs de pierres	0,205	0,189	0,205	0,116
Divers	0,146	0.043	0,146	0,073
Main-d'œuvre extérieure	*0,957*	*0,890*	*0,957*	*0,521*
MAIN-D'ŒUVRE TOTALE	**4,033**	**3,948**	**4,675**	**3,515**
Chevaux	0,174	0,161	0,157	0,130
Bois	1,066	0,885	1,294	0,937
Chemins de fer	0,025	0,025	0,025	0,027
Machines	0,230	0,271	0,230	0,281
Bennes	0,082	0,083	0,082	0.089
Câbles	0,058	0,090	0,058	0,017
Divers	0.479	0,538	0.479	0.387
FOURNITURES	**2,114**	**2,053**	**2,325**	**1,868**
Travaux extraordinaires — Main-d'œuvre	0,170	0,215	0,170	0,122
Travaux extraordinaires — Fournitures	0,128	0,226	0,128	»
Redevances	1,016	1,090	1,016	0,759
Traitement des employés de la mine	0,169	0,170	0,169	0,178
Épuisement, transports, chargements, frais généraux	mémoire	mémoire	mémoire	mémoire
FRAIS DIVERS	**1,483**	**1,701**	**1,483**	**1,059**
Prix total	**7,630**	**7,702**	**8,482**	**6,442**

(²) Couche très inclinée; traversée moyenne 22 mètres; charbon moyennement dur; tranches horizontales.
(³) Couche un peu moins inclinée, à 45° en moyenne; traversée 16 mètres; charbon plus dur; tranches horizontales.
(⁴) Inclinaison moyenne 40°; traversée moyenne 8 mèt.; charbon dur; tranches horizontales.
(⁵) Inclinaison moyenne 40°; puissance moyenne 1m,50; exploitation par gradins.

(¹) Renseignements dus à l'obligeance de MM. Devillaine et Pinel. Moyenne de 1882.

539 — Les prix, si variables d'une mine l'autre, changent également avec le temps, pour un même siège d'exploitation. Pour en donner un exemple, j'insérerai dans les deux dernières colonnes du tableau suivant (page 590), relatif à la houillère de Rhein-Elbe (Westphalie), les prix relatifs à l'année 1866 [1] et à l'année 1872 [2].

540 — *Lignite.* — Le prix de revient de la Société de charbonnages des Bouches-du-Rhône s'établit de la manière suivante pour la tonne de lignite [3] :

	fr.	
Abatage	2,858	
Herschage	0,301	
Freins	0,018	
Traînage mécanique	0,153	
Abatage et Roulage	3,330	3,330
Surveillance intérieure	0,128	
Galeries et coupements	0,069	
Chemins de fer, pose et entretien	0,117	
Aérage	0,094	
Travaux divers d'entretien courant	0,077	
Travaux intérieurs	0,485	0,485
Machines d'extraction et chaudières	0,042	
Accrochage et roulage extérieur	0,221	
Surveillance extérieure, graissage	0,041	
Charbon consommé à l'extraction	0,436	
Entretien des machines d'extraction	0,798	
Épuisement, main-d'œuvre, charbon	0,724	
Entretien des machines d'épuisement	0,123	
Extraction et Epuisement	2,385	2,385

(1) Francis Laur (*Bull. min.*, 2e, IV, 854). L'éclairage est payé par les ouvriers.
(2) De Loriol et Chansselle (*Bull. min.*, 2e, IV, 850).
(3) Renseignements dus à l'obligeance de M. Biver.
Premier semestre de 1882. Sièges d'exploitation Castellanne et Léonie. Cette Division ne fournissant qu'un dixième environ au lavage, celui-ci ne figure pas dans le tableau, et il a été tenu compte de cette quantité, ainsi que du combustible brûlé pour les machines, estimé au prix de revient.

DÉPENSES	PRIX MOYEN DE LA JOURNÉE en 1866	DÉTAIL DU PRIX DE REVIENT EN 1866			PRIX DE REVIENT TOTAL	
		MAIN-D'ŒUVRE	FOURNITURES	DIVERS	1866	1872
Abatage de la houille	4,10	1,193	0,009	»	1,202	1,585
Chargement aux tailles	1,50	0,046	»	»	0,046	
Travaux au rocher	3,06	0,028	0,002	»	0,030	0,421
Accrochage	2,71	0,050	0,001	»	0,051	0,089
Transport intérieur à 435 mètres en moyenne	2,52	0,500	0,022	»	0,522	1,205
Travaux d'assèchement	2,18	0,057	0,002	»	0,059	0,090
Établissement et entretien des voies	2,65	0,063	0,024	»	0,087	0,120
Remblayage, boisage	2,39	0,172	0,114	»	0.286	0,705
Travaux d'entretien	2,73	0,295	0,001	0,007	0,303	0,225
Aérage	2,27	0,101	0,002	»	0,103	0,226
Surveillance	»	»	0,005	0,076	0,081	0,205
Amortissement des câbles et des voies	»	»	»	0,046	0,046	0,065
Travaux intérieurs	»	*2,505*	*0,182*	*0,129*	*2,816*	*4,936*
Triage, emmagasinage, expédition	2,15	0,216	0,037	0,001	0,254	0,410
Entretien des chemins de fer au jour	»	»	0,001	0,015	0,016	0,018
Réparation du matériel	1,29	0,057	0,053	0,056	0,166	0,247
Moteurs et agrès	»	0,040	0,156	0,005	0,201	0,316
Surveillance	»	»	»	0,030	0,030	0,046
Divers	»	0,026	»	»	0,026	0,083
Travaux extérieurs	»	*0,339*	*0,247*	*0,107*	*0,693*	*1,120*
Épuisement	3,07	0,054	0,059	»	0,113	0,246
Entretien des immeubles	»	»	3,004	»	0,004	0,153
Caisse de prévoyance	»	»	»	0,032	0,032	0,062
Redevances et contributions	»	»	»	0,228	0,228	0,214
Traitement des employés	»	»	»	0,106	0,106	0,180
Frais de vente, dépôts, frais généraux	»	»	0,023	0,526	0,549	0,484
Service général	»	*0,054*	*0,086*	*0,892*	*1,032*	*1,339*
Travaux de premier établissement	»	*0,059*	*0,163*	*0,574*	*0,796*	*1,788*
PRIX TOTAL	»	2,957	0,678	1,702	5,337	9,225

Report		6,200
	fr.	
Chargement.	0,104	
Criblage et Triage	0,061	
Entrepôts.	0,060	
Monte-charges, grande rampe. . .	0,089	
Transport de la mine à la gare. . .	0,204	
Travaux extérieurs courants. . . .	0,050	
Frais divers.	0,035	
Travaux extérieurs . . .	0,603	0,603
Travaux d'aménagement.		0,341
Frais généraux de l'exploitation (1).		0,207
Subventions (2)		0,154
Charges générales (3)		1,250
PRIX TOTAL		8,755

Je citerai encore, en ce qui concerne les lignites, l'exemple remarquablement économique de la région de Karbitz Steplitz (Bohême) en 1880 (4) :

Abatage, triage, boutage au plan incliné.	1,050	
Roulage du plan au puits	1,450	
Extraction	0,075	
Triage au jour	0,100	
Main-d'œuvre directe . . .	1,675	1,675
Boisage et déboisage, pose et dépose des voies.	0,200	
Serrages, muraillement	0,125	
Main-d'œuvre indirecte . .	0,325	0,325

(1) Personnel fixe, frais de bureau, assurances, etc.
(2) Caisse de secours, accidents, chauffage des ouvriers, écoles, etc.
(3) Redevances à l'état et aux particuliers, frais généraux sociaux, service des emprunts, amortissement de travaux et matériel, etc.
(4) Lallemand (*Annales*, 7e, XIX, 350)

	fr.	
Bois	0,125	
Fer	0,125	
Briques, Chaux	0,100	
Matériaux	0,350	0,350
Extraction	0,075	
Epuisement	0,150	
Machinerie	0,225	0,225
Dégâts de surface	0,125	
Administration, surveillance	0,375	
Impôt, intérêt, amortissement, etc	0,600	
Frais généraux	1,100	1,100
TOTAL GÉNÉRAL		3,675

541 — *Anthracite.* — Le prix de la tonne d'anthracite a été détaillé de la manière suivante pour le bassin de Pennsylvanie en 1874 [1]:

	fr.	
Galeries de niveau	0,089	
Retour d'air	0,254	
Abatage	2,571	
Travaux préparatoires	0,160	
Conducteurs	0,663	
Boiseurs, poseurs de voies	0,193	
Extraction	0,085	
Mécanicien, chauffeur	0,099	
Main-d'œuvre	4,114	4,114
Bois	0,061	
Ateliers	0,263	
Ecuries	0,451	
A reporter	0,775	4,114

[1] Sauvage (*Annales*, 7e, VII, 246). Ce prix, établi en dollars, a été ici converti en francs, d'après le change indiqué par l'auteur.

	fr.	fr.
Report	0,775	4,114
Magasin	0,023	
Poudre, huile	0,056	
Fournitures	0,390	
Surveillance	0,061	
Fournitures et accessoires.	1,305	1,305
Main-d'œuvre	1,114	
Bois	0,009	
Ateliers	0,070	
Écuries	0,038	
Magasins	0,005	
Huile	0,009	
Fournitures	0,141	
Préparation mécanique. .	1,386	1,386
Impositions	0,028	
Assurances	0,033	
Direction	0,080	
Frais généraux	0,296	
Frais divers	0,437	0,437
TOTAL GÉNÉRAL. .		7,242

§ 8

PRIX DE REVIENT. — MINERAIS METALLIQUES

542 — *Plomb argentifère.* — Le prix de revient de la Société des mines de plomb et de zinc argentifères de Pontpéan s'établit de la manière suivante, pour le minerai brut ou pour le minerai préparé, au moment actuel et à deux époques antérieures de 8 ans et de 15 ans [1]:

[1] Renseignements dus à l'obligeance de M. Éloy.

DÉPENSES	1867-68		1874-75		1883	
	Minerai brut	Minerai préparé	Minerai brut	Minerai préparé	Minerai brut	Minerai préparé
Abatage					3,57	15,62
Remblayage	7,08	19,75	7,53	66,51	0,23	1,00
Roulage et extraction					1,20	5,25
Entretien					0,31	1,36
Epuisement	2,40	6,65	0,46	4,08	0,16	0,72
Travaux divers	»	»	»	»	0,15	0,63
Machinistes	2,27	6,45	1,54	13,51	0,65	2,81
Préparation mécanique	5,27	14,74	5,48	48,35	3,57	15,63
Atelier de réparation	3,23	8.97	2,34	20,55	0,35	1.56
Main-d'œuvre	*20,25*	*56,46*	*17,35*	*153,00*	*10,19*	*44,58*
Houille pour les moteurs : Extraction					1,43	6,27
Houille pour les moteurs : Epuisement	10,25	30,34	11,59	102,21	0.60	2,63
Houille pour les moteurs : Préparation mécanique					0,53	2,33
Métaux	0,33	0,91	0,37	3,26	0,06	0,26
Bois	2,35	6,59	2,66	23,40	0,71	3,15
Graissage	1,13	3,14	0,53	4,73	0,22	0,90
Eclairage	0,20	0,57	0,09	0,80	0,10	0,50
Explosifs	0,54	1,53	0,42	3,66	0,70	2,92
Divers	1,41	3.91	1.23	10,91	0,46	2,08
Consommations	*16,81*	*46,99*	*16,89*	*148,97*	*4,81*	*21,04*
Machines et pompes	2,88	8,05	3,72	32,85	0,20	0,88
Matériel	»	»	»	»	0,08	0,40
Préparation mécanique et outillage	»	»	0,02	0,07	0,52	2,25
Chemins	»	»	»	»	0,05	0,20
Divers	0.05	0,11	0.01	0,06	0.14	0,61
Entretien (main-d'œuvre et consommations)	*2,91*	*8,16*	*3,75*	*33,08*	*0,99*	*4,34*
Traitements	2,75	7,77	1,40	12,43	0,38	1,68
Transports	»	»	»	»	0,43	1,87
Frais généraux	5,54	15,40	4,78	42.17	0.72	3.12
Charges diverses	*8,29*	*23,26*	*6,18*	*54,60*	*1,53*	*6.67*
Prix total	48,28	134,87	44,17	389,65	17,62	76,63

Le tableau suivant, qui fait connaître pour la même exploitation, pendant une succession de 17 années, le prix de revient, le tonnage produit et les résultats obtenus, permettra de donner une idée des fluctuations que peut subir une mine métallique, en traversant des époques difficiles, des immobilisations de capitaux dans des travaux d'avenir, ou des périodes réparatrices [1].

EXERCICES	PRIX DE REVIENT		TONNAGE PRODUIT		RÉSULTATS		
	MINERAI brut	MINERAI préparé	MINERAI brut	MINERAI préparé	DÉPENSE nette de l'exploitation sans les travaux de recherche	EXCÉDENT du produit net des minerais sur les frais d'exploitation	
						Gain	*Perte*
	francs	francs	tonnes	tonnes	francs	francs	francs
1866-67	46,40	123,48	6 700	2 518	310 946	24 635	»
1867-68	48,26	134,87	6 600	2 362	318 568	19 052	»
1868-69	43,52	137,77	7 100	2 243	309 018	26 231	»
1869-70	35,25	135,47	9 950	2 589	350 745	51 011	»
1870-71	32,34	114,26	9 770	2 766	316 056	12 971	»
1871-72	34,35	127,66	8 960	2 412	307 925	38 021	»
1872-73	25,76	185,53	14 900	2 069	383 863	90 840	»
1873-74	32,45	252,46	12 650	1 626	410 508	102 411	»
1874-75	44,17	389,65	11 000	1 247	485 899	18 217	»
1875-76	36,89	347,58	13 000	1 380	479 672	»	29 230
1876-77	31,95	370,48	15 200	1 311	485 701	»	52 712
1877-78	23,70	226,45	25 500	2 669	604 417	»	77 605
1878-79	24,92	135,40	25 000	4 602	623 130	»	3 573
1879-80	20,95	96,88	33 000	7 139	691 663	298 016	»
1880 (9 mois)	17,59	112,30	31 100	4 873	547 246	248 762	»
1881	18,69	114,88	39 300	6 395	734 658	148 273	»
1882	18,41	93,90	41 200	8 081	758 818	335 226	»

Les mines de plomb argentifère de Vialas ont donné lieu, en moyenne, pendant une quarantaine d'années, aux relevés suivants :

[1] Pendant cette période, le salaire des ouvriers a augmenté de 16 pour 100.

ARTICLES		UNITÉS	PÉRIODE DE 34 ANS — 1843-1844 à 1876-1877	PÉRIODE DE 5 ANS — 1877-1878 à 1881-1882
Volume du minerai brut		mèt. cubes	4 893,50	4 274,40
Poids de	schlich bon à fondre	kilogr.	578 350,23	302 488,00
	matières plombo-argentifères (¹)	kilogr.	211 095,73	166 210,00
Rendement du mètre cube de minerai brut en matières plombo-argentifères		kilogr.	43,14	38,88
Prix de revient	du mètre cube de minerai brut	francs	56,54	50,02
	de la tonne de schlich (²)	francs	478,40	706,93
	de la tonne de matières plombo-argentifères	francs	1 310,76	1 286,56

(¹) Argent, plomb marchand, litharge. La production en argent a été de 1205 kilogrammes par année de la période de 34 ans.
(²) Le renchérissement de la préparation mécanique pendant la seconde période a été dû à un certain appauvrissement des parties exploitées dans cet intervalle.

La *proportion pour* 100 des divers chapitres de dépense s'est établie de la manière suivante, pendant la période de 5 ans :

Travaux de mine	52,75
Triage	6,60
Lavage	9,25
Grillage	3,40
Fusion	2,95
Coupellation et raffinage	2,90
Frais généraux	22,15
	100,00

543 — *Pyrite.* — La Compagnie de Saint-Gobain établit, de la manière suivante, dans ses mines de Saint-Bel (Rhône), le compte de la main-d'œuvre et des fournitures pour la tonne de pyrite (¹) :

(¹) Renseignements dus à l'obligeance de MM. Pinel et Drillon.

	fr.	
Abatage	1,084	
Roches stériles	0,161	
Boisage	0,288	
Remblayage	0,357	
Roulage	0,312	
Surveillance intérieure	0,120	
Frais divers	0,191	
	2,513	
Main-d'œuvre extérieure	0,467	
Main-d'œuvre	2,980	2,980
Fournitures intérieures et extérieures		1,544
Frais généraux et autres		*mémoire*
Prix total		4,524

La mine de pyrite de fer cuprifère d'Agordo (Haute-Vénétie) a produit la *tonne de minerai* dans les conditions suivantes [1] :

	fr.
Travail au chantier	2,489
Roulage, extraction	1,264
Travail au jour	0,379
Travaux au rocher	0,276
Charpentiers, remblayeurs, machinistes	1,984
Surveillance	0,598
Achat de matériel	2,253
Frais divers	0,074
Frais d'exploitation	9,317
Frais de métallurgie	8,224
Frais d'administration	11,146
Prix total	28,687

(1) Haton de la Goupillière (Annales, 5e, VIII, 479, 481). Moyenne de dix années, prise en 1854.

La *tonne de cuivre rosette* revenait dans ce traitement compliqué à 1951fr,60.

544 — *Mercure.* — Je présenterai encore ici le rapprochement des prix de revient des trois principales mines de mercure du monde entier : Almaden (Espagne), Idria (Autriche), New-Almaden (Californie).

Dans la mine d'Almaden, le prix de revient de la *tonne de minerai* s'est établi de la manière suivante pour l'année 1875 (1) :

	fr.	
Abatage	20,53	
Boisage, muraillement	14,31	
Épuisement	4,24	
Aérage	0,12	
Extraction, transports	5,09	
Frais généraux	15,78	
Frais d'exploitation	60,07	60,07
Frais de distillation		24,09
Personnel, frais de bureau	8,00	
Ateliers, hôpital, frais divers	4,35	
Frais d'administration	12,35	12,35
PRIX TOTAL		96,51

Le prix de la *tonne de mercure* s'est élevé à 1323 fr. 40.

Dans la mine d'Idria, le prix de revient de la *tonne de minerai* s'est établi de la manière suivante, pour l'année 1853 (2) :

(1) Küss (*Annales*, 7e, XIII, 39). Ces chiffres ont été calculés ici d'après le prix de revient de la tonne de mercure (*loco citato*, p. 143), la teneur du minerai (p. 102) et la perte effective (p. 135).
(2) Huyot (*Annales*, 5e, V, 23).

	fr.	
Piqueurs	4,397	
Poudre	0,945	
Boisage	0,856	
Roulage	0,673	
Remblais	0,673	
Outils, réparation des pompes	2,603	
Éclairage	0,332	
Usure des câbles	0,066	
Main-d'œuvre d'extraction	0,199	
Frais spéciaux	10,744	10,744
Intérêts	0,408	
Machines	0,396	
Direction, etc	0,109	
Frais généraux	0,913	0,913
TOTAL GÉNÉRAL		11,657

Le prix de la *tonne de mercure* s'est élevé à 1380 francs.

A New-Almaden (Californie), le prix de revient de la *tonne de minerai* s'est établi de la manière suivante pour l'année 1864 [1] :

	fr.
Mineurs	13,86
Chargement	3,85
Porteurs de sac	34,62
Rouleurs	0,97
Machinistes	1,18
Chauffeurs	0,66
Boiseurs	0,87
Recherches, aménagement	49,75
Travaux extraordinaires	5,07
Recherches à la surface	1,34
A reporter	112,17

[1] Coignet (*Annales*, 6e, IX, 578).

	fr.
Report	112,17
Trieurs	37,48
Casseurs	4,14
Réparations, fournitures	2,57
Forgerons	4,60
Charpentiers	18,16
Surveillants.	5,97
Frais divers.	2,30
TOTAL GÉNÉRAL.	187,39

Le prix de la *tonne de mercure* s'est élevé à 2882 francs.

CHAPITRE XXIV

EXPLOITATIONS A CIEL OUVERT

—

§ 1

PRINCIPES GÉNÉRAUX

545 — *Avantages et inconvénients.* — Lorsque les gîtes minéraux se trouvent dans une proximité suffisante de la surface, on les exploite *à ciel ouvert*. Ce procédé présente de grands avantages. En ce qui concerne le danger : on évite l'éboulement du plafond, les coups d'eau, l'incendie souterrain ; on supprime le grisou, on réalise de meilleures conditions hygiéniques pour le personnel. Sous le rapport de l'économie : on supprime l'éclairage, le boisage ; on facilite l'abatage, en employant de grands gradins. Le triage à la lumière du jour est plus complet ; il évite de transporter une certaine quantité de matériaux inutiles, qui eussent échappé à l'attention, dans les travaux souterrains. On peut retirer la totalité du minerai sans en rien perdre, avec une rigueur et une facilité que ne comportent pas, au même degré, les méthodes souterraines.

Les découverts et les exploitations intérieures se prêtent un mutuel secours, lorsque l'on peut les associer sur un même gisement. Les premiers fournissent du remblai aux chantiers souterrains, qui les débarrassent par là de stériles encombrants. On se trouve, dans ce cas, un peu moins étroitement limité, pour la profondeur qu'il est possible d'atteindre dans des conditions rémunératrices.

La méthode à ciel ouvert fournit enfin un remède décisif, pour sauver la partie supérieure de gîtes de combustible définitivement compromis par l'incendie, comme conséquence de la mauvaise exploitation des anciens.

546 — En revanche, on ne doit pas dissimuler certains inconvénients de ce principe. C'est, en premier lieu, la nécessité, pour l'exploitant, de se rendre acquéreur en totalité, de la superficie qu'il veut dépecer, et, en outre, la plupart du temps, d'un supplément nécessaire pour former les places de dépôt. C'est, surtout, la limitation caractéristique et très étroite, qui est imposée par l'épaisseur des morts-terrains de recouvrement. Les frais de la découverture croissent rapidement avec la hauteur stérile, tandis que ceux qu'entraîne l'exploitation souterraine en sont peu affectés, du moins dans la faible zone accessible aux travaux à ciel ouvert. Il y a donc nécessairement un point où l'équilibre s'établira, dans chaque cas, entre l'accroissement dû à la profondeur, et l'économie, à peu près constante, que réalise, pour l'exploitation souterraine, la suppression des chapitres de dépense énumérés ci-dessus. Callon évalue, en moyenne, cette différence à 2f,70 par tonne de houille.

La limite d'épaisseur n'a, d'ailleurs, rien d'absolu. Elle dépend, dans chaque cas, de la valeur de la tonne de minerai, de la puissance sur laquelle il se trouve accumulé, et de la nature du recouvrement. On admet, par exemple, que l'on peut, dans un charbonnage, enlever économiquement une épaisseur de morts-terrains égale au double ou au triple de celle de la houille subordonnée. Cependant, certains ingénieurs étendent cette proportion au quintuple, et l'on a même été jusqu'au rapport de 7 à 1, quand les circonstances locales se sont montrées particulièrement favorables (1).

Il peut arriver, encore, qu'une exploitation à découvert cesse d'être fructueuse, si la nature du gîte s'altère en profondeur, et que des noyaux stériles, des nerfs, s'y manifestent. On se trouverait, en effet, conduit à extraire une grande quantité de matières inu-

(1) Nesterowski (*Bull. min.*, 2e, VII, 843).

tiles, tandis qu'une exploitation souterraine permet, plus facilement, de dépecer les parties intéressantes, en se glissant entre celles qui sont sans valeur [1].

547 — *Talus.* — En dehors de la question économique, pour régler le point où l'exploitation doit s'arrêter en profondeur, sous peine de cesser d'être rémunératrice, on se trouve également limité par des considérations purement techniques, résultant de l'impossibilité de maintenir les parois des excavations au delà d'une certaine hauteur. Cependant on peut citer à cet égard des résultats fort remarquables. Les fers en grains de la Haute-Marne ont été excavés jusqu'à des profondeurs de 50 mètres. Les découverts de Nordmark (Suède) ont dépassé 120 mètres, ceux de Dannemora ont atteint 150 mètres [2]. Les ardoisières de Trélazé ont dépassé ce chiffre. La carrière de l'Hermitage, notamment, s'est éboulée en atteignant 180 mètres [3].

L'élément essentiel qui permet de s'enfoncer sans danger, est le *talus*, ou le *fruit*, c'est-à-dire l'angle d'inclinaison qu'il convient de donner au terrain. Certaines roches dures peuvent se tenir verticalement sur des hauteurs immenses. La nature en présente des exemples gigantesques, dans les montagnes ou le long des falaises qui bordent l'océan. Quelques exploitations profitent de cette circonstance pour s'enfoncer verticalement sans aucun talus. Beaucoup de filons de minerai de fer, en Suède, sont excavés à pic, entre leurs épontes.

Mais, en général, il faut compter sur une certaine pente, variable avec la nature des terrains. Il est important, d'ailleurs, de distinguer deux sortes de talus : celui de la roche en place, sur le bord des excavations, et celui sous lequel se tient la même roche ameublie, dans

[1] Cette circonstance s'est présentée à Moresnet (Vieille-Montagne). On a rencontré, dans la profondeur, mêlés à la calamine, les résidus du grand travail de corrosion effectué par les sources hydrothermales. Ces parties impures ont été exploitées souterrainement, par la méthode horizontale propre aux amas (n° 498).

[2] C'est exactement la hauteur du monument le plus élevé du monde entier : la flèche de la cathédrale de Rouen.

[3] Ce chiffre représente sensiblement la somme des hauteurs superposées des deux édifices les plus élevés de Paris : la flèche des Invalides (105 mètres), et le Panthéon (79 mètres).

les cavaliers de déblais. Il sera souvent sage de s'en tenir à cette dernière valeur, pour tenir compte, à l'avance, de l'action prolongée du temps. Quand on ne possède *a priori* aucune donnée immédiate, on admet généralement 1 de base sur 1 de hauteur. Des terres argileuses fortes prennent, par le pelletage, 5 de base pour 7 de hauteur; des sables incohérents jetés à la pelle : 5 de base pour 3 ou 4 de hauteur.

Il faut bien remarquer, du reste, que cet élément ne saurait former une constante, caractéristique de chaque terrain. Une surcharge placée près du bord de l'excavation nécessitera plus de pied. Indépendamment de cette surcharge artificielle, telle que celle d'un édifice, ou d'un cavalier rapporté, la propre masse du terrain oblige à coucher progressivement, dans la profondeur, l'inclinaison de son profil. Il y a donc lieu, pour un talus très élevé, que l'on veut établir d'une manière rationnelle, d'employer des profils polygonaux, de plus en plus redressés à partir du fond, en vue d'économiser l'achat de la superficie qui correspond à un même plafond mis à nu. A chaque changement de fruit, on intercale une *berne* horizontale, qui sera utile pour la circulation des véhicules et le captage des eaux aux divers étages, quand il est nécessaire de les relever mécaniquement. On économisera, en effet, sur le travail d'épuisement, en évitant de leur laisser atteindre le fond, et l'on supprimera, en même temps, le ravinement des pentes par les eaux sauvages.

548 — Ces profils en ligne brisée se règlent théoriquement de la manière suivante (fig. 371). On marque, à partir de la surface A_0, les divers niveaux A_1, A_2, A_3, A_4 auxquels les circonstances locales recommandent de fixer les étages, supposés au nombre de quatre, dans le cas actuel, pour fixer les idées. On figure les plans horizontaux A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3, A_4B_4 de ces points de division. On calcule, par les formules de la théorie de la poussée des terres [1], les inclinaisons A_0C_1, A_0C_2, A_0C_3, A_0C_4 des talus qui conviennent pour ces diverses hauteurs.

[1] Maurice Lévy (*Journal de mathématiques pures et appliquées*, 2e série, t. XVIII).

Cela fait, on adopte, pour le dernier étage, la portion D_3B_4 du profil qui lui correspond. Mais on supprime le reste A_0D_3 de ce talus, et on le remplace de la manière suivante. Marquant en E_3 le milieu de cette longueur, on conduit par ce point une parallèle $B_3E_3F_3$ à l'inclinaison A_0C_3, relative à l'avant-dernier étage. Ce talus B_3F_3 est

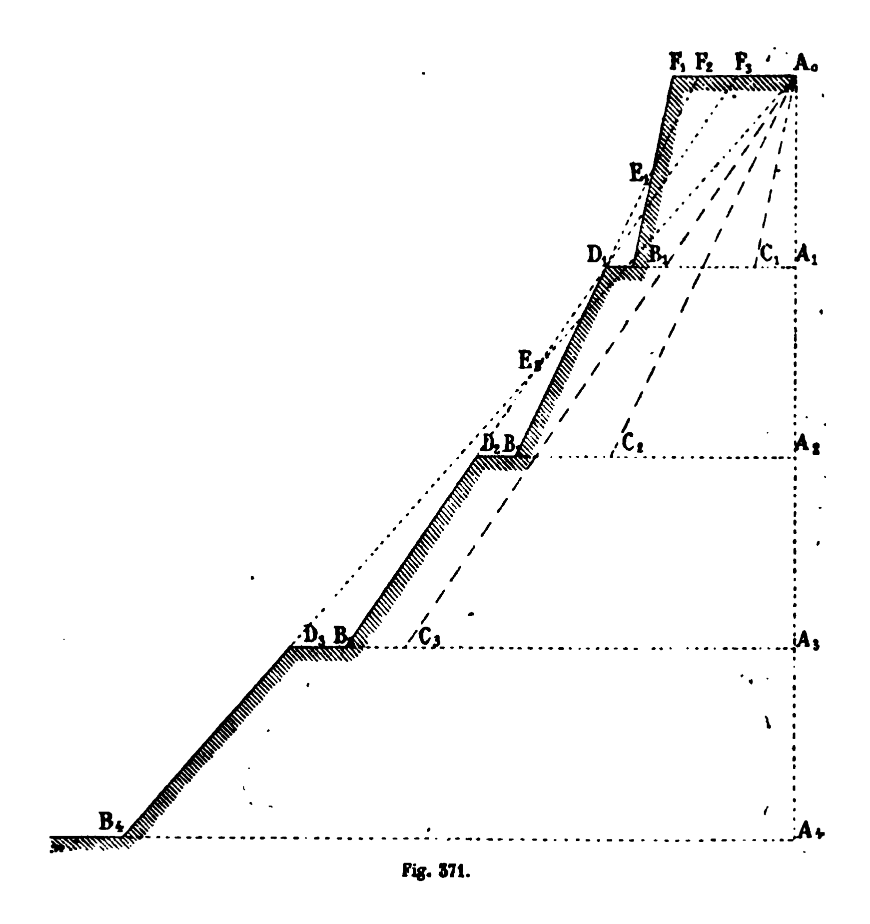


Fig. 371.

donc en état de se soutenir, en ce qui le concerne, et, d'un autre côté, cette substitution ne modifie pas la charge supportée par le précédent D_3B_4, puisqu'en supprimant le prisme $B_3D_3E_3$, on ajoute d'autre part $A_0E_3F_3$ qui lui est équivalent.

On adopte alors pour l'avant-dernier étage le profil D_2B_3, mais on supprime le surplus D_2F_3 de ce talus, en le remplaçant de la

manière suivante. On prend, pour cela, le milieu D_1 de la longueur supprimée D_2F_3, et l'on trace par ce point une parallèle $B_2D_1F_2$ à l'inclinaison A_0C_2 qui convient pour cette profondeur. Ce talus B_2F_2, capable dès lors de se soutenir par lui-même, ne modifie pas la charge sur la partie inférieure, en raison de l'équivalence de la partie supprimée $B_2D_1D_2$ et de la portion ajoutée $D_1F_2F_3$.

On n'emploie encore, de ce talus, que la portion D_1B_2 relative au second étage, et l'on remplace le surplus D_1F_2 par la parallèle B_1F_1 menée à l'inclinaison A_0C_1 relative à cette hauteur, au milieu E_1 de la droite supprimée D_1F_2. Ce dernier talus B_1F_1 se tiendra, d'après cela, de lui-même, et l'équivalence des prismes $B_1D_1E_1$ et $E_1F_1F_2$ ne modifiera pas la charge exercée sur la partie subordonnée.

On voit qu'avec cette construction, l'on économisera, comme achat de terrain, toute la partie A_0F_1, qui eût été indispensable avec un talus unique $B_4D_3A_0$. Quant au volume de déblai, il est resté le même, d'après les explications précédentes. Mais le travail d'extraction n'en aura pas moins augmenté, car les diverses parties sont prises, de cette manière, à des profondeurs plus grandes. On voit, par exemple, que $B_1E_1D_1$ est subordonné à $F_1E_1F_2$ auquel il a été substitué ; il en est de même pour $B_2D_1D_2$, remplaçant $F_2D_1F_3$, et pour $B_3E_3D_3$, qui tient la place de $A_0E_3F_3$.

549 — Lorsque les talus deviennent raides et les terrains glissants, il est prudent d'attacher les ouvriers avec des cordes, à des points fixes de la partie supérieure, pour qu'ils ne puissent être entraînés. Aux carrières de Sablé, ils sont assis dans des sièges suspendus, pour frapper tous ensemble sur les lignes de coins, destinés à faire éclater les blocs de marbre.

Souvent on met à nu, en dressant un talus, de petits affleurements d'argile. Ces lits, intercalés dans la stratification, arrêtent l'infiltration des eaux, qui les délayent et les transforment en une surface lubrifiée, facilitant le glissement de la masse supérieure. En temps ordinaire, les eaux s'écoulent librement, et cet effet est peu à redouter. Mais, en hiver, la gelée, enfermant les affleurements, arrête les suintements, retient les eaux dans l'intérieur, et prépare le délayage de l'argile. Il convient, pour éviter ce danger dans les

talus destinés à une certaine durée, d'y pratiquer une *gargouille* de la manière suivante. On enlève, à cet effet, l'argile sur une certaine profondeur, que l'on remplit de paille, en y ménageant des bouts de tuyaux pour relier l'extérieur à l'intérieur. Cette partie se trouve préservée de la gelée par la paille, qui agit comme mauvais conducteur, en immobilisant l'air dans ses interstices ; l'eau y reste donc à l'état liquide, et s'écoule au dehors par les tuyaux.

On rencontre également des affleurements sableux incohérents, qui se déliteraient rapidement, en laissant leur toit en porte-à-faux, et hors d'état de soutenir la charge qui le surmonte. Il sera bon alors de prendre les devants, et de vider l'affleurement sur une certaine profondeur, en le remplaçant par de la maçonnerie, à travers laquelle on ménage des barbacanes pour l'écoulement des eaux.

550 — *Types généraux d'exploitation.* — La conduite des exploitations à ciel ouvert repose sur des principes généraux excessivement simples. Mais leur application se trouve très diversifiée par les circonstances locales, et, trop souvent, il faut bien le dire, par le manque de suite dans la conduite de ces grands travaux.

Il est, en effet, extrêmement essentiel de ne procéder que d'après un plan d'ensemble, largement, mais nettement conçu, et qui, laissant place aux détails de l'imprévu et du développement journalier des opérations, établira néanmoins de grandes lignes, qui devront rester invariables dans le système à suivre.

On s'attachera attentivement à atteindre directement, sur chaque point, le maximum de profondeur auquel il est appelé, dans les prévisions les plus probables que l'on a pu former. Dans ces conditions, la plate-forme mise à nu pourra être utilisée comme place de dépôt, pour les stériles du reste de l'exploitation. Sans cela, l'on se trouverait conduit, quelque jour, pour prendre la tranche subordonnée, à déplacer ce nouveau recouvrement. De tels remaniements sont souvent la cause la plus directe de l'insuccès économique, et de l'arrêt du travail à ciel ouvert.

Il convient également d'établir le point d'attaque, dans la partie du champ d'exploitation qui est destinée à atteindre la plus grande profondeur, afin que les eaux puissent s'y concentrer, en asséchant

les chantiers ultérieurement ouverts. On amorce donc en aval des pentes, et l'on procède en montant légèrement, pour que les eaux dégagent le front de taille, au lieu de s'y accumuler, et aillent se perdre dans les stériles rejetés en arrière. On a soin de ménager, s'il y a lieu, dans ces cavaliers de déblai, une galerie, dont on établit, à ciel ouvert, la voûte, pour y charger ensuite les terres. L'eau s'engage alors dans ce tunnel pour traverser le massif de stériles, et s'écouler au delà dans les vallées, s'il est possible de lui ménager cette issue.

Quand on n'est gêné que par les eaux du ciel, on commence par en garantir autant que possible la fosse, en l'entourant de fossés de circonvallation, qui interceptent les écoulements de la plaine, et les reportent plus loin en aval.

Si, au contraire, l'on se trouve dans le thalweg même d'une vallée, parcourue par un cours d'eau permanent, comme cela arrive souvent pour des alluvions d'or, d'étain, etc., on commence par la barrer en amont, à un niveau assez élevé pour faire cheminer le courant dans un chenal artificiel sur le flanc du coteau, et le dériver en aval des travaux, en créant ainsi une force hydraulique utile pour la préparation mécanique des minerais.

Lorsque le gîte, au lieu d'être dans le thalweg, se trouve à flanc de coteau, on attaque l'affleurement (fig. 380), en rejetant les matières stériles en arrière, au niveau de chaque berne, afin de n'avoir rien à monter. Si la vallée se trouve par là comblée, on a soin d'y assurer préalablement l'écoulement, ainsi qu'il vient d'être expliqué, au moyen d'un tunnel dont la section sera établie en prévision des plus grandes crues.

Quand on se trouve en plaine (fig. 372), avec un affleurement, et un plongement sur lequel s'établit, en aval-pendage, l'exploitation souterraine, à partir du point où le recouvrement ne peut plus être économiquement enlevé, l'on commence par pratiquer une galerie suivant la pente, pour conduire à une recette du puits, les eaux, et même les matériaux excédant ce que la disposition des banquettes permet d'accumuler en arrière, à l'aide du roulage horizontal.

Si l'on ne se relie pas à une exploitation souterraine, on exécute une tranchée suivant la direction de la stratification, de manière à

laisser derrière soi l'aval-pendage. On est, dès lors, assuré contre toute tendance au glissement de cette partie. Sur les deux flancs. profilés suivant des lignes de plus grande pente, on n'en aura non plus aucune, pourvu que l'on donne à ces parements le talus nécessaire. Quant à l'avancement, qui est conduit en montant dans l'amont-pendage, on devra s'y garer contre les glissements, en fractionnant le front de taille en gradins, et donnant au terre-plein de chacun d'eux une longueur suffisante, afin d'éviter qu'il constitue une charge trop considérable pour le talus de celui qui lui est subordonné.

La hauteur des gradins devra être d'autant plus restreinte que l'on sera conduit à se mettre plus complètement en garde contre la tendance au glissement. Elle varie depuis $1^{m},50$ à 3 mètres jusqu'à 15



Fig. 372. Découvert pratiqué sur un affleurement.

et 16 mètres dans les grands abatages. Avec des gradins élevés, la tombée est plus fructueuse. Cependant il ne faudrait pas aller jusqu'à l'exagération. Si la roche est dure, elle se divisera en gros blocs, qu'il faudra de nouveau fractionner, et souvent dans des situations moins commodes que l'emplacement naturel. Si elle est ébouleuse, on obtient peu d'avantage, et l'on s'expose à un grand encombrement. Le cas le plus favorable, sous ce rapport, est celui d'une stratification présentant des lits de consistances très diverses, que la chute en grande masse contribue à fragmenter.

On combine avantageusement, avec l'enlèvement à ciel ouvert, quelques travaux souterrains exécutés au pied des grandes tranchées, pour en faciliter l'éboulement. On pratique alors de courts travers-bancs perpendiculairement au front de taille, et, en arrière, une galerie de recoupe. On établit dans ces piliers des four-

neaux de mine, que l'on fait sauter simultanément à l'aide de l'électricité. J'ai donné déjà (nº 159, note) un spécimen de l'échelle grandiose sur laquelle on opère ainsi dans certaines carrières [1].

§ 2

EXEMPLES

551 — Ces aperçus généraux présentent nécessairement un certain caractère d'indétermination. Il ne sera donc pas inutile de préciser davantage, en examinant de plus près un certain nombre d'exemples spéciaux, choisis parmi les plus remarquables par leurs dimensions, leur situation, ou la nature des matières extraites.

Ardoisières de Trélazé (Maine-et-Loire) [2]. — Nous avons déjà parlé (nº 393) de la formation ardoisière d'Angers, à l'occasion de son exploitation souterraine. On y pratique en même temps des découverts très importants.

Pour ouvrir une carrière, la première opération est l'endiguement de la superficie que l'on se propose de fouiller, si l'on se trouve dans des terrains bas. La digue que l'on élève, à cet effet, est formée de terre battue, sur $0^m,80$ d'épaisseur, comprise entre deux murs en pierres sèches, que l'on protège eux-mêmes avec un amoncellement de débris de carrière. On procède ensuite à la *découverture* du terrain, c'est-à-dire à l'enlèvement des *cosses*, dont l'épaisseur dépasse parfois 20 mètres. En même temps, on prépare sur le *chef* de l'Ouest, qui est le plus solide, un *arrêt* en pierres sèches, pour asseoir les engins d'extraction dont nous parlerons plus tard. On procède alors au fonçage, c'est-à-dire à l'ouverture d'une rigole de $3^m,30$ de profondeur, entre les deux *chefs de règle*, qui limitent la carrière dans le sens du *fil de pierre*, ou de la longueur. Pour abattre le schiste, après l'ouverture de chacune de ces foncées, on exécute des coupes verticales, et l'on tire à la poudre.

[1] Orieulx de la Porte, carrières de Lafarge du Theil (*Annales*, 8ᵉ, III, 295).
[2] Blavier, *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*, p. 16.

552 — *Ardoisières de Penrhyn et Llambéris* (Pays de Galles) [1]. — Ces deux centres d'exploitation de schiste ardoisier sont à peine distants de quelques kilomètres, mais les produits s'évacuent dans deux directions différentes : pour le premier à Bangor, sur la mer d'Irlande, et, pour l'autre, à Portdinowic, sur le détroit de Menai. Chacun d'eux occupe environ 3000 ouvriers. A Llambéris, cette population se trouve disséminée sans encombrement sur un champ d'exploitation de plus d'un kilomètre de longueur, avec une différence de niveau de 400 à 500 mètres sur le flanc de la vallée. A Penrhyn, elle est concentrée dans une excavation unique, d'environ 500 mètres sur 200. Dans le seul centre de Penrhyn, la production annuelle dépasse cent mille tonnes. Le mode général d'exploitation procède par grandes tranchées, de 10 à 15 mètres de hauteur, et d'une longueur variable suivant les accidents topographiques. L'ensemble présente 15 gradins, communiquant entre eux par des plans inclinés de 100 à 200 mètres.

553 — *Ardoisières de Festiniog* (Pays de Galles) [2]. — Cette localité se trouve située à 16 kilomètres de Madoc, son port d'embarquement sur la baie de Cardigan. La couche a 40 mètres de puissance, elle est inclinée à 45 degrés. Le toit est parfaitement régulier et très solide. Les affleurements se trouvent à plus de 150 mètres au-dessus de la vallée. Un coupement évacue les eaux et en débarrasse l'exploitation.

La couche (fig. 373) est partagée suivant la direction en massifs de 10 mètres, réservés comme soutiens entre d'autres lopins de 20 mètres, qui sont destinés à être dépilés. Les longs boyaux, ainsi pratiqués dans la masse, s'enfoncent dans la profondeur comme de vastes puits inclinés ; et la mine ne mérite le nom de chantier à ciel ouvert, que parce que l'orifice de ces grandes excavations débouche au jour.

L'abatage se fait par tailles de 15 mètres suivant la verticale, ou 25 mètres de relevée. On le pratique en descendant au toit de la couche

(1) Davies, *Traité de l'ardoise et de son exploitation*, in-12.
(2) Blavier, *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*, page 61.

dans la première chambre. De là on communique dans les autres par des coupements, et l'on vide ensuite ces chambres, en s'élevant sous stot. On s'élargit, dans le sens de la traversée, au moyen de gradins, et l'on ménage deux nouvelles séries de coupements d'une chambre à l'autre, l'une au milieu de la puissance et l'autre au mur. On établit la continuité de ces communications, d'un pilier

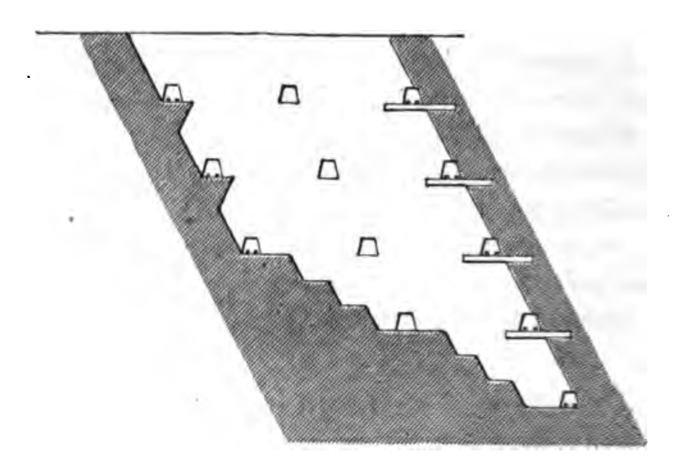


Fig. 373. Ardoisières de Festiniog (Pays de Galles).

à l'autre, en jetant des ponts en charpente sur le vide des chambres, au moyen de corbeaux fixés dans la roche du toit et de corniches réservées dans la roche même du mur. Ces chemins de fer, après avoir traversé toute l'exploitation, finissent par déboucher sur le flanc du coteau, où ils amènent les produits.

554 — *Phosphates de l'Auxois* (Côte-d'Or). — L'un des horizons dans lesquels se trouve concentré le phosphate de chaux d'origine sédimentaire, est le lias inférieur, spécialement le niveau de l'*ammonites Bucklandi*, dans le calcaire à gryphées arquées. Les nodules sont ordinairement enclavés dans le carbonate de chaux, sans limites nettes ni séparation facile. Cependant l'Auxois a été le théâtre d'un phénomène diluvien, d'une nature un peu obscure, qui a préparé d'avance cette séparation, en altérant les affleurements des bancs

de phosphates, dissolvant la gangue calcaire et laissant les phosphorites au milieu d'un limon.

L'exploitation des parties riches de cette zone s'effectue à ciel ouvert. Elle n'est fructueuse que lorsque le recouvrement ne dépasse pas 2 mètres. Les Compagnies traitent avec les propriétaires ruraux, qui exploitent eux-mêmes leur terrain, à la conservation duquel ils sont directement intéressés (fig. 374). Ils procèdent pour cela par fossés contigus. On commence par enlever avec soin la terre végétale A, que l'on reporte en A′ de l'autre côté de la tranchée, pour

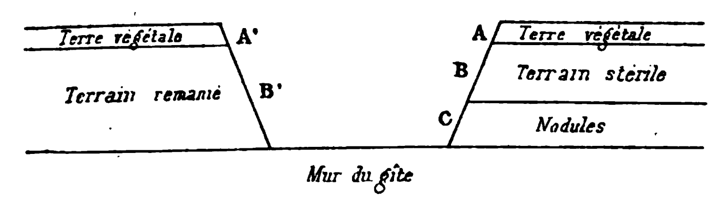


Fig. 374. Phosphates de l'Auxois.

en recouvrir le terrain remanié B′. On dépèce ensuite le stérile B, qui est rejeté en face, en B′, et enfin l'on enlève les phosphates C. Ils sont portés, à l'aide de petits chemins de fer, au patouillet, et subissent un débourbage, définitif ou simplement provisoire suivant les cas. De cette manière, l'ensemble du gîte est enlevé sans entraîner la destruction de la surface agricole. Elle se trouve même plutôt améliorée par le défonçage profond qu'on lui a fait subir.

Les rognons ainsi obtenus sont grisâtres, assez compacts et friables. La masse présente une teneur de 60 à 65 %. Les phosphorites sont livrées en cet état aux usines, et on leur fait subir, s'il y a lieu, un second lavage, suivi d'un séchage dans des étuves, où les introduisent des chariots plats. Ces nodules sont alors réduits en farine à l'aide de meules horizontales, ensachés et dirigés sur le marché de Paris.

555 — *Mines de fer de Sommo-Rostro* (Biscaye) [1]. — Les gîtes

[1] Gill, *Iron and steel Institute*, 1882. — Revaux, *Génie civil*, III, 267. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 140. — Baills, *Annales*, 2e, XV, 209.

de fer de Bilbao sont des amas couchés d'hématite, de l'époque crétacée. Ils sont intercalés entre un grès schisteux ou micacé au mur, et un calcaire argileux au toit. Ils présentent, par places, 73 mètres de puissance. En certains endroits, ils passent à des filons de fer carbonaté spathique, qui atteignent 4 mètres d'épaisseur. On a estimé à 160 millions de tonnes le cubage des gîtes de Matamoros, Triano, Sommo-Rostro, sans compter Galdamès, Ollargan, etc.

On distingue quatre espèces de minerais : 1° la *vena dulce*, située à la surface, tendre, d'un rouge sombre, très pure et présentant parfois une structure rhomboédrique; 2° le *rubio*, hématite brune, plus dure, caverneuse, ordinairement moins pure; 3° le *campanil*, hématite rouge de couleur pourpre, avec de beaux rhomboèdres de spath calcaire, moins ferrifère, mais moins siliceuse et moins hydratée. Le campanil est situé à la base de la formation, et intercalé entre deux couches calcaires. C'est le minerai le plus riche, mais le moins abondant, et qui menace de s'épuiser. Citons enfin : 4° le *minerai spathique*, plus exceptionnel.

En faisant abstraction de ce dernier, les productions des trois autres sortes ont été respectivement de 9, de 34 et de 57 °/₀ en 1881. Le chiffre total, qui s'était abaissé pendant la guerre civile à 20 000 tonnes par an, a été, en 1882, de 3 700 000 tonnes, occupant 12 000 ouvriers, et fournissant le chargement de 4000 steamers sur le Nervion. Ce district est partagé entre plusieurs puissantes Compagnies, et beaucoup de petits exploitants.

556. — L'enlèvement du gîte a lieu exclusivement à ciel ouvert. A Orconera (fig. 375), on exploite en trois gradins de 12, de 21 et de 14 mètres. La longueur des fronts de taille dépasse 300 mètres. La totalité du minerai descend par des couloirs en planches au fond de la vallée. Le plus inférieur de ces appareils renferme un stock régulateur de 200 tonnes, et sert à charger à la fois 3 wagons de 4 tonnes.

A Concha (fig. 376), la Compagnie franco-belge a d'abord percé un puits, qui est passé de la vena dans le rubio. Après l'avoir rejoint par une galerie sortant au jour, on a procédé à la partie supérieure par élargissements successifs. Le minerai descend dans le

puits, pour être évacué par le tunnel (1). Les travaux ont rencontré d'anciennes galeries éboulées, dans les masses de vena.

Les abatages se font en grande masse, et quelques-uns fournis-

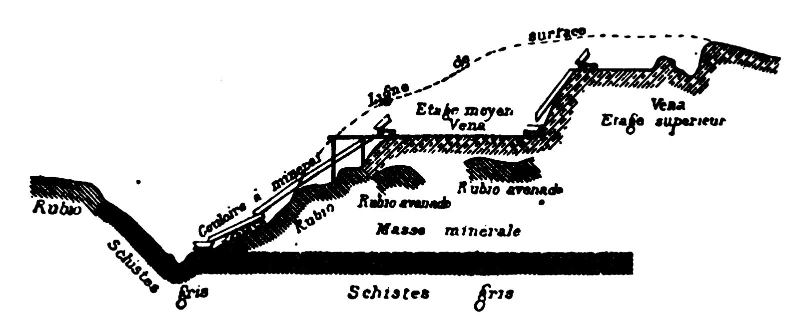


Fig. 375. Découverts de Sommo-Rostro (Biscaye) (coupe d'Orconera).

sent jusqu'à 3000 tonnes. On fore des coups de mine qui atteignent 10 mètres de longueur, à l'aide de barres à mine manœuvrées par six ou sept hommes. Les coups ratent souvent dans le rubio, à

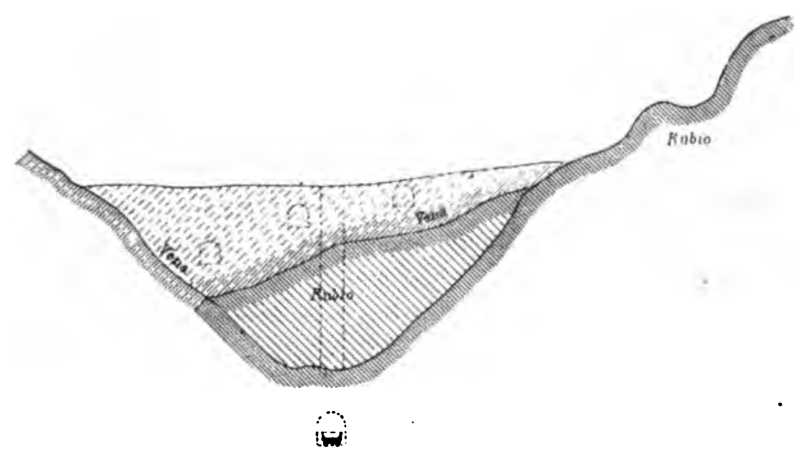


Fig. 376. Découverts de Sommo-Rostro (Biscaye) (coupe de Concha).

cause de sa structure caverneuse. Dans ce cas, on en pratique un autre à côté du premier.

(1) Une méthode analogue a été employée pour le gîte de fer de Moravicza (Banat).

Le triage se fait à la main, et amène le minerai à une teneur de 55 °/₀. Le débardage des stériles est rendu difficile par le manque de places de dépôt On est obligé de leur faire supporter d'assez longs transports en chemin de fer. C'est un des côtés faibles de ces exploitations, où l'on n'évite pas un certain gaspillage, en rejetant de véritables minerais, dont la teneur peut approcher de 45 °/₀, afin de s'attacher aux sortes les plus profitables.

Le prix de l'abatage et du triage par tonne varie depuis 1 fr. 25 pour le Campanil, jusqu'à 3 fr. 25, et même davantage, dans le rubio. Le prix sur navire a été, en moyenne, de 7 fr. 50 en 1879; 11 fr. 25 en 1880; 8 fr. 75 en 1881. Le maximum s'est élevé à 18 fr. 75 en 1880. M. Baills a donné en 1879 le détail suivant pour l'exploitation de Galdamès [1] :

	fr.
Extraction, chargement sur wagon	0,87
Transport sur voie ferrée	0,77
Embarquement.	0,19
Entretien, frais généraux.	0,39
Amortissement	1,45
Redevance tréfoncière.	0,58
	4,25

557 — *Mines de fer de Mokta-el-Hadid* (Algérie). — Le gisement de Mokta [2] est interstratifié dans les schistes micacés à

[1] Dans les découverts du lac Supérieur, avec des recouvrements qui atteignent 12 mètres, le prix de revient de la tonne de minerai de fer s'établit de la manière suivante :

Travaux de préparation.	3f,35
Abatage	4f,70
Poudre, outils	1f,40
Transport, épuisement.	1f,85
	11f,30

(Sauvage, *Annales*, 7ᵉ, VIII, 1).

A la mine de fer de Persberg. l'une de celles de toute la Suède où le prix de revient est le plus élevé, il revient à 10 francs la tonne.

[2] Mokta-el-Hadid : *coupure de fer;* dénomination due à l'existence d'une ancienne excavation romaine de 5 à 6 mètres.

grenats, pyroxénites et cipolins, compris dans l'étage des gneiss de Bône. Le mur est formé de ce schiste imperméable. Il présente une inclinaison qui varie de 15 à 45 degrés. Le toit est un calcaire cipolin, quelquefois remplacé par un schiste semblable à celui du mur, mais plus tendre et moins grenatifère.

Le gîte forme une masse continue de 1600 mètres en direction (fig. 377), dont les affleurements sont visibles sur un développement de 1500 mètres. Son épaisseur, qui se tient en moyenne à 5 mètres, atteint, et dépasse même, 15 mètres dans les renflements.

Le minerai est un mélange intime de fer oxydulé et de fer oligiste massifs, rendant 60/$^\circ_0$ de fonte dans le haut fourneau, et présentant une teneur de 1 à 2 centièmes de manganèse. L'oxyde magnétique tend à dominer dans la profondeur et au voisinage des calcaires, en acquérant une très grande dureté.

La mine est aménagée en vue d'une production annuelle de 300 000 tonnes, mais les fluctuations de la population ouvrière, kabyle ou italienne, arrivent souvent à restreindre ce chiffre. Elle est exploitée, à la fois, à ciel ouvert et par travaux souterrains [1]. Le tonnage se répartit à peu près par $^1/_5$ pour ces derniers, et $^4/_5$ pour le découvert.

558 — Les travaux à ciel ouvert sont conduits en gradins droits. Ils conservent une connexion très étroite avec l'intérieur, dans lequel ils écoulent le minerai et l'eau [2]. Les matières sont déversées à des *puits de chute* maçonnés et évasés vers le bas. Ils sont munis de recettes, dans lesquelles on effectue directement le chargement sur les wagons du chemin de fer de Bône. Ces derniers circulent dans des galeries tracées en direction, avec un développement d'environ 1200 mètres. Les principales se trouvent à quatre

[1] L'exploitation souterraine s'effectue à l'aide d'une méthode montante de remblayage : en travers dans les parties puissantes, en grandes tailles quand l'épaisseur est inférieure à 2 mètres.

[2] L'entretien d'eau est d'environ 20 ou 30 mètres cubes à l'heure (avec accroissement dans les saisons pluvieuses). Il est remonté par deux pompes Lloyd et une pompe d'avaleresse de secours, dans un puits de 65 mètres.

L'aérage est naturel, en raison des nombreuses ouvertures et des différences de niveau dont on dispose.

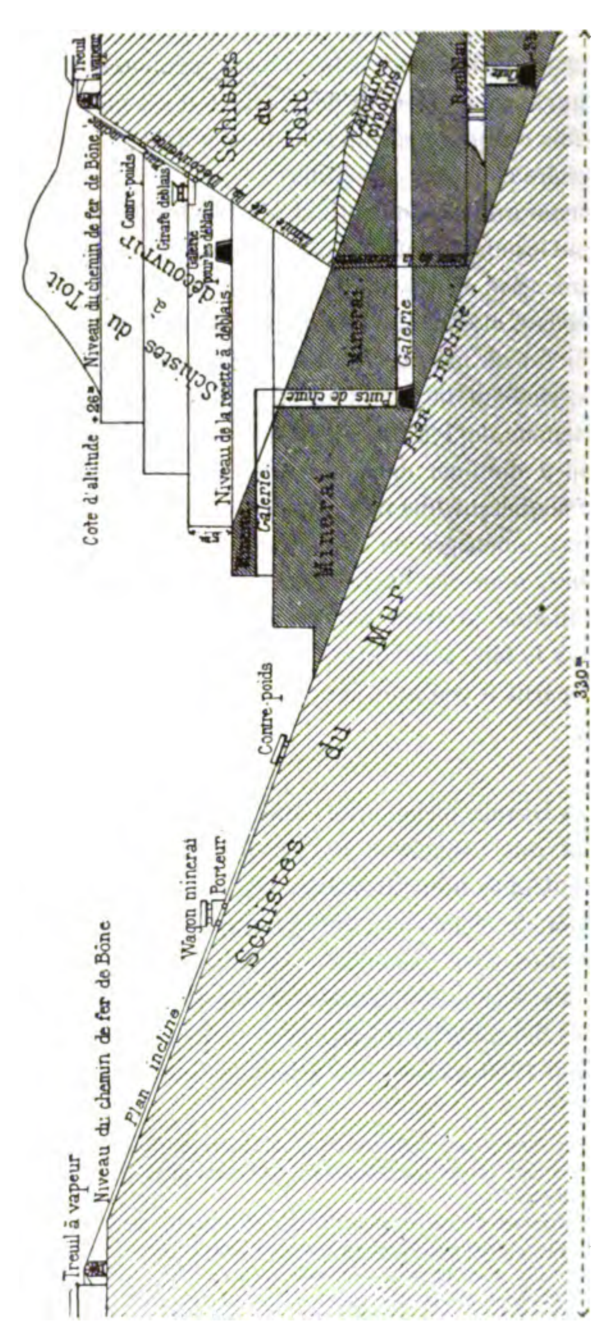


Fig. 377. Découverts de Mokta-el-Hadid (Algérie).

niveaux différents : celui de la mer, deux étages inférieurs, aux cotes négatives de 15 et 35 mètres, et un étage supérieur, à l'altitude de 26 mètres, au niveau des rails du chemin de fer. Les wagons, qui pèsent 5 tonnes, sont reçus individuellement sur le chariot-porteur (n° 648) d'un grand plan incliné, à contrepoids et ancre de sûreté, qui les remonte à la cote 26. Le mètre cube de remblai élevé à ce niveau, avec déplacement de 800 mètres, revient à 1 fr. 70 ou 1 fr. 80.

L'équilibre à établir entre les deux modes d'attaque se règle à l'aide de nombreuses coupes du terrain, en prenant en considération le prix de revient du déblai, son épaisseur, son talus, qui est en général de 1 de base sur 2 de hauteur et atteint rarement 45 degrés ; et, d'autre part, la puissance du minerai, la teneur du mètre cube en tonnes marchandes, le pendage, le prix de l'abatage variable avec la dureté. En général, on admet que l'on peut découvrir 2 mètres cubes de schiste pour 1 de minerai (1). Cependant le rapport $^{11}/_{8}$ de la dépense de main-d'œuvre et de surveillance du travail souterrain aux frais d'exploitation superficielle, semble indiquer que l'on pourrait s'approfondir un peu plus. Mais la prudence retient dans ces limites. On active cet approfondissement lorsque la main-d'œuvre de l'intérieur, plus difficile que celle de la surface, vient à se raréfier, ou que le minerai y devient exceptionnellement dur. On se restreint, au contraire, si l'on peut craindre des mouvements de terrain, ou quand l'écoulement des terres remaniées, ne pouvant plus être assez rapide, provoque l'encombrement.

559 — *Mine de pyrite de fer cuprifère de Rio-Tinto* (Huelva) (2). — La province d'Huelva, située au sud-ouest de l'Espagne, présente une zone métallifère dirigée à peu près de l'est à l'ouest, sur 20 lieues de longueur et 4 lieues de large environ. On y rencontre : à l'est,

(1) Pour interpréter ce rapport dans des cas similaires, il ne faudrait pas perdre de vue que les conditions sont ici singulièrement favorables, en raison du mutuel appui que se prêtent les travaux du découvert et de la profondeur.

(2) Cumenge, *Notes sur Rio-Tinto*, in-4°, Paris, 1883. — *Cours inédit de géologie technique* de M. Fuchs.

Rio-Tinto; au centre, Tharsis; à l'ouest, San-Domingo en Portugal, près de la frontière; et, en outre, une série de gîtes beaucoup moins importants. Cette zone est formée de schistes remontant à l'époque silurienne, ou à celle du calcaire carbonifère. Ils ont été recoupés par des porphyres feldspathiques, que l'on pourrait rapporter à la fin de la période houillère. Ces derniers ont été eux-mêmes affectés par les éruptions permiennes de pyrite, intercalées entre le porphyre et le schiste, qui devient blanc à leur contact, et traversant le porphyre en certaines places.

Le minerai forme trois masses principales : le filon du Nord, celui du Sud, et celui, encore inattaqué, de la vallée. Le premier est reconnu sur 2500 mètres environ de longueur, avec une puissance qui atteint, en certains endroits, l'énorme chiffre de 500 mètres; le second, sur 3500 mètres, avec une épaisseur maximum de 125 mètres. Ils forment ainsi d'immenses boutonnières dans la masse du terrain.

La pyrite est compacte, sans gangue distincte. Elle est partout surmontée d'un chapeau de fer, formé de terres rouges provenant d'une altération qui s'est concentrée au niveau hydrostatique des eaux de la surface. Cette réaction a déterminé un recul du cuivre dans la partie inaltérée, le sulfate de cuivre, dû à l'oxydation et dissous par l'eau, redescendant avec elle, pour être de nouveau fixé par l'excès de soufre. Il s'ensuit un certain enrichissement de la zone supérieure voisine du chapeau, si on la compare à l'aval-pendage. Certains indices semblent, en outre, manifester, en dehors de cette circonstance exceptionnelle, un enrichissement progressif avec la profondeur. La teneur moyenne, évaluée sur un million de tonnes, a été trouvée, en 1882, de 2,88 % de cuivre, avec 40 % de fer et 48 % de soufre.

560 — L'exploitation date d'une époque très reculée. Elle remonte aux Phéniciens, et peut-être plus haut encore. Les Romains ont exécuté une quantité imposante de travaux souterrains. On a reconnu plus de 300 kilomètres de galeries, des puits innombrables, et des haldes pouvant renfermer une vingtaine de millions de tonnes de scories, laissées par les anciens.

Aujourd'hui la Compagnie de Rio-Tinto extrait un million de

tonnes par an. Elle s'est syndiquée avec Tharsis et San-Domingo, en se réservant un cinquième de l'exportation en Angleterre, et la totalité de celle du continent européen. Rio-Tinto fournit environ le douzième de la production totale de cuivre du monde entier. On exporte la partie la plus riche des pyrites, le quart environ, et l'on traite sur place les trois autres quarts. Cette extraction est répartie à peu près par égales portions entre le découvert et l'exploitation souterraine (¹).

Le découvert de Rio-Tinto est gigantesque. Il se prolonge sur 500 mètres environ de développement, atteint, au maximum, une largeur de 125 mètres en pleine pyrite, sur une hauteur de 90 mètres de minerai, surmontée de 25 à 30 mètres de terres rouges. On dépèce, en outre, des porphyres décomposés, formant une partie du Mont-Salomon. Le front de taille présente six gradins, de 16 mètres de hauteur, sur lesquels circulent les locomotives, qui mènent, sans transbordements, les produits jusqu'à la mer, ou aux tas de grillage. Dans ces conditions, l'abatage se trouve singulièrement facilité. On a vu des explosions électriques fournir, d'un seul coup, 32 000 tonnes, dans une partie attaquée autrefois par piliers abandonnés, et qu'il s'agissait de transformer en découvert. Le travail se prolonge pendant la nuit, à la clarté de trois phares électriques. La Compagnie emploie 13 000 travailleurs, tant au jour qu'au fond (²).

Le prix de revient (³) est très économique, en raison du taux peu élevé de la main-d'œuvre, dont la journée moyenne est de 2 fr. 50 (⁴). Il peut, pour une tonne de pyrite, s'établir de la manière suivante :

(¹) Cette partie est prise par la méthode des piliers abandonnés. Le champ d'exploitation a pour artère principale un tunnel de 4 mètres sur 4 mètres, pratiqué en plein minerai, sur un développement de 2400 mètres. On y voit circuler les locomotives et le matériel, qui conduisent les produits sans rompre charge jusqu'au port d'Huelva, à 84 kilomètres.

(²) Les torrents d'acide sulfureux dégagés par le grillage de cette masse formidable de pyrite rendent, par certains vents, le découvert inhabitable, et ont transformé, dans un rayon très étendu, la contrée en un véritable désert. On a cherché à diminuer cet inconvénient par l'introduction d'un nouveau procédé de traitement.

(³) Établi par M. Cumenge (*loco citato*, p. 39).

(⁴) Tandis qu'elle atteint le décuple en Amérique, dans des conditions de cherté précisément opposées.

Dépenses. —	Travaux à ciel ouvert.	Travaux souterrains.
	fr.	fr.
Abatage, main-d'œuvre, surveillance, explosifs. . .	0,80	2,00
Cassage, triage, chargement, transport	1,20	1,75
Entretien des outils, du matériel roulant et de la voie	0.50	0,75
	2,50	4,50
Amortissement du découvert et des déblais stériles.	1,00	»
Exploitation d'une tonne du pyrite.	3,50	4,50
Calcination (¹), lavage, cémentation	3,20	3,20
Exploitation et traitement d'une tonne de pyrite.	6,70	7.70

561 — ***Mines d'étain de Pérak*** (presqu'île de Malacca) (²). — Le royaume de Pérak est situé sur la côte occidentale de la péninsule malaise, entre le 3ᵉ et le 5ᵉ degré de latitude Nord, par 99° de longitude orientale. Il est soumis au protectorat anglais. Trois chaînes de montagnes parallèles à la mer y dessinent des vallées d'alluvion, dont celle de Pérak est la principale. Le sous-sol est granitique. Le granite blanc, à tourmalines, très peu micacé, est recoupé par des filons d'étain, qui forment un réseau serré et n'ont jamais été travaillés. Les alluvions stannifères sont seules exploitées.

Le mur de la formation est un kaolin blanc. La couche riche d'argile blanche, avec rognons de quartz, présente $2^m,25$ de puissance. Un recouvrement de $7^m,50$ est formé d'argiles ou sables stériles superposés, et de terre végétale. La teneur du minerai se tient en général entre 0,008 et 0,010. Elle dépasse rarement 0,060.

Le travail se fait à ciel ouvert. On pratique une tranchée perpendiculaire à l'axe de la vallée, en rejetant le stérile en arrière. Le minerai est monté à dos d'homme, de la tranchée jusqu'à la laverie. Le travail est fait par des coolies chinois. Leurs exigences sont faibles, mais leur travail peu fructueux. Le prix du mètre cube de terres remuées s'élève jusqu'à 5 fr. 75. Le prix de revient de

(¹) *Körnröstung* analogue à la méthode de grillage d'Agordo (Haton de la Goupillière, *Annales*, 5ᵉ, VIII, 407).

(²) Rapport sur les mines de Pérak par M. J. Errington de la Croix. Je dois ces renseignements à l'obligeance de M. Fuchs.

la *tonne d'étain métallique* se décompose de la manière suivante :

	fr.
Abatage, extraction, épuisement.	875,20
Préparation mécanique.	42,40
Métallurgie.	232,60
Amortissement, transport au port de Pinang, etc.	49,80
Redevance à l'État.	320,00
	1520,00

Le prix de vente en mars 1881 était de 2200 fr. Il a été écoulé, en 1879, sur le marché de Pinang, 8800 tonnes, ce qui égale la production du Cornwall et du Devonshire.

562 — *Placers d'or de Nevada* (*Californie*) ([1]). — L'exploitation des *placers* de Californie se fait à l'aide de l'eau sous pression, employée dans des appareils qui portent le nom de *géants*. Cette méthode, qui a pris naissance en 1852, a reçu un très grand développement, et fait disparaître en peu de temps des collines entières. Ces alluvions atteignent parfois une puissance de 80 mètres.

On commence par barrer une vallée, pour obtenir une retenue d'eau. Des canaux de 2 à 3 mètres de largeur la conduisent, suivant une ligne de faible pente, tracée sur le contrefort des coteaux, ou, dans d'autres cas, en franchissant des vallées, à l'aide d'aqueducs ou de siphons. Le siphon de Cherokee, par exemple, présente 4300 mètres de longueur, $0^m,76$ de diamètre, 299 et 253 mètres pour les altitudes de ses extrémités au-dessus de son point le plus bas. Il débite 63 mètres cubes par minute.

L'eau arrive dans un distributeur carré, d'où partent des tuyaux en tôle. Ils se terminent par des ajutages, assemblés à l'aide de joints

([1]) Sauvage, *Annales*, 7e, IX, 1. — Laur, *Annales*, 6e, III, 347. — John Trask, traduit par Delesse, *Annales*, 5e, IX, 649. — Comte de Beauvoir, *Voyage autour du monde*, 860. — Lock, *l'Or, ses gisements, son extraction*, in-8°. — Whitney, *les Graviers aurifères de la Californie*, in-4°. — Blanchard and Weeks, *la Loi sur les mines, les minerais et l'exploitation par l'eau*, San Francisco. — Arthur Phillips, *the Mining and metallurgy of gold and silver*, Londres, 1867, 151. — Waldeyer, *Statistics of mines, etc., of the Rocky Mountains*, 1873.

en cuir, ou même en métal. On dirige alors un jet sous pression vers le point où l'on veut déterminer une perforation. Le liquide sort du trou en bouillonnant et entraînant les matières. Un éboulement se produit bientôt. S'il le faut, on attaque par plusieurs jets convergents les points les plus résistants. En cas de nécessité, l'on s'aide de quelques fourneaux de mine enflammés par l'électricité. Telle est la marche employée pour les parties supérieures.

Pour enlever le fond du bassin, qui est précisément le plus riche, il faut modifier un peu l'attaque. On pratique un tunnel, à partir du point le plus bas des vallées environnantes. Celui de North-Bloomfield, par exemple, a 2300 mètres de longueur. On rejoint cette galerie par un puits boisé, foncé dans le placer. On commence ensuite à déboiser la travée supérieure, et, avec les lances d'eau, l'on coupe le terrain, dont on détermine l'écoulement dans le puits, et à travers le tunnel. Lorsque la hauteur de la formation dépasse 40 mètres, on opère en deux gradins.

Au sortir de la galerie, les eaux sont reçues dans des canaux en bois, présentant des ressauts remplis de mercure, pour y faire barboter les matières et dissoudre l'or qui s'y trouve disséminé. Après un certain nombre de passages dans le mercure, on rejette le stérile, et l'on traite l'amalgame, pour en retirer l'or.

563 — *Mines de diamants du Cap* (*Afrique Australe*) [1]. — Les mines de diamants de l'Afrique australe (Kimberley, Du Toit's Pan, Bultfontain, Old de Beer's) sont au nombre des plus curieuses. Elles se trouvent situées dans le district de Griqua land West, non loin du fleuve Orange.

Les gîtes sont formés d'une roche dure, épanchée par de véritables boutonnières ouvertes dans le schiste, qu'elles ont relevé verticalement et étiré. La matière éruptive a formé des champignons gigantesques, dont une partie a été détruite par les érosions, et qui paraissent dues à plusieurs éruptions successives. Ces roches sont

(1) Maurice Chaper, *Sur la région diamantifère de l'Afrique australe*, in-8°, Paris, 1880. — Roordo Smit, *les Mines de diamants de l'Afrique australe* (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IX, 196).

analogues aux serpentines et aux ophites. Leur teinte, altérée et jaunâtre près de la surface, est d'un noir verdâtre dans la profondeur. Ces roches boueuses ont dû arriver dans un état de fluidité assez marqué, et renferment des fragments de roches préexistantes très variées, arrachées de la profondeur. Tel est le gîte qui contient le diamant. On voit par là qu'il ne présente pas encore cette gemme dans les conditions de sa formation primitive, antérieure à tout remaniement.

Le type d'exploitation doit ses défauts essentiels aux conditions du début. A Kimberley (fig. 378), le chantier forme une excavation

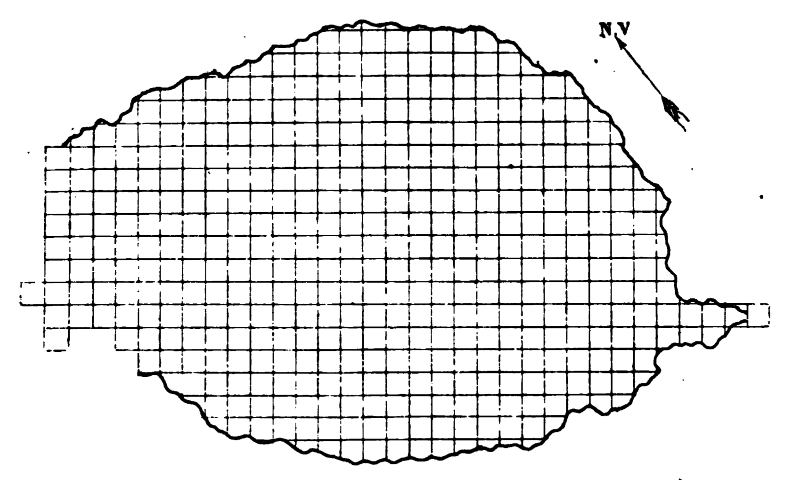


Fig. 378. Mines de diamants du Cap (plan des claims de Kimberley).

à peu près elliptique, de 300 mètres sur 200 environ, avec une profondeur qui atteint, au centre, une centaine de mètres. Elle s'enfonce verticalement sur le gîte de serpentine diamantifère. La surface fut divisée à l'origine en *claims*, d'environ un are chacun, et répartie, sous cette forme, entre les premiers occupants. Nul ne devait alors exploiter plus d'un claim. Depuis cette époque, la limite a été portée à dix claims, de même que certains carrés ont été subdivisés, et que l'on voit des propriétaires d'un seizième de claim. Chacun creusait pour son compte, en se débarrassant comme il pouvait de ses déblais. Il y a eu, à un certain moment, 1600 exploitations

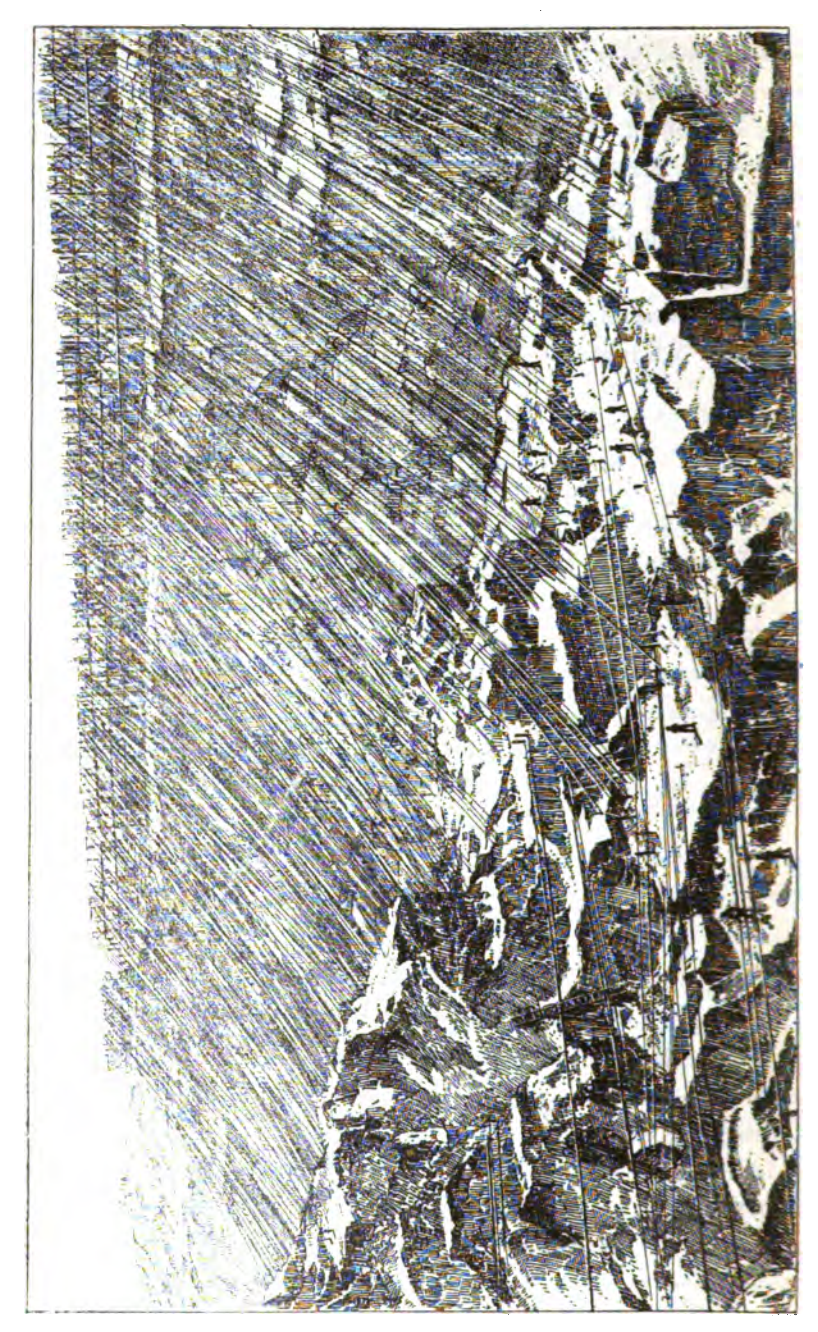


Fig. 379. Mines de diamants du Cap (fosse de Kimberley).

distinctes à Kimberley, dont chacune possédait son appareil d'extraction (fig. 379). De là une forêt de câbles, tendus entre le fond et les chefs de l'excavation, avec les roues ou les manèges correspondants. Une certaine entente a déjà permis d'assurer le service de l'épuisement, qui était devenu inextricable. La nécessité de donner un talus à ce précipice, et, pour cela, d'en débarrasser les abords des cavaliers de déblais qui les encombrent, s'impose, en outre, dans un avenir prochain, sous peine de voir entraver l'approfondissement de l'exploitation à ciel ouvert ([1]).

564 — *Houillère de la Vaysse (Aveyron)* ([2]). — Dans les grands découverts de Decazeville (fig. 380), la couche est presque horizontale. Elle présente une trentaine de mètres de puissance, avec un recouvrement à peu près double, de schiste et grès

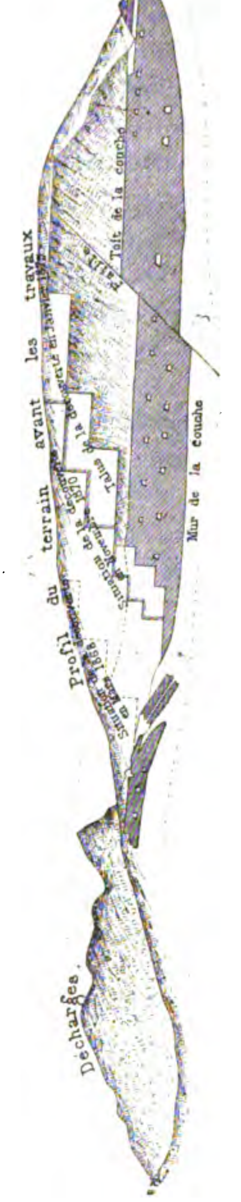


Fig. 380. Découverts de La Vaysse (Aveyron).

([1]) On peut citer des exemples analogues du tort occasionné par la subdivision outrée de la propriété minérale, qui empêche l'emploi de méthodes judicieusement instituées.

En 1825, lors de la levée de l'interdit, qui pesait depuis des siècles sur l'industrie minière en Espagne, une grande activité se réveilla dans les sierras de Gador et d'Almagrera, mais avec la sujétion de diviser la propriété du fonds en rectangles égaux, de quatre hectares environ, ce qui fit cribler de petits puits cette région, riche en plomb argentifère. (Denis de Lagarde, *Richesse minérale de l'Espagne*, p. 32.)

De même, dans la puissante formation de galène du Bleyberg de Carinthie, on trouvait encore, en 1845, un total de 836 concessions, dont 450 seulement communiquaient directement avec le jour. (Phillips, *Annales*, 4e, VIII, 239).

De tels exemples sont bien propres à faire apprécier les bienfaits de la législation française de 1810.

([2]) Nesterowski, *Bull. min.*, 2e, VII, 845.

en partie calcinés par les incendies de l'ancienne exploitation souterraine, et d'un aspect absolument caractéristique.

Les stériles s'enlèvent en quatre tranches. La plus inférieure, de 7 mètres environ, est réservée pour suivre de près l'avancement du déhouillement, afin de préserver, le plus longtemps possible, le combustible de l'altération. Les trois tranches supérieures, de 15 à 20 mètres d'épaisseur, sont prises de la manière suivante.

Perpendiculairement au front de taille, on fonce 4 à 6 galeries présentant une largeur, une hauteur et un intervalle de $1^m,50$. On les relie par une recoupe, conduite parallèlement au front de taille sur les mêmes dimensions. On amincit les piliers jusqu'à ce qu'ils deviennent menaçants, et l'on y pratique des fourneaux. A la surface, on surveille attentivement les crevasses, en mesurant leurs largeurs avec de petites planchettes, de manière à pouvoir avertir, en temps utile, les hommes engagés dans l'intérieur. On abat ainsi, à l'aide de volées de coups de mine, jusqu'à 1300 mètres cubes à la fois.

La houille ne saurait être exploitée d'une manière aussi brutale. On la prend en quatre gradins de 5 à 7 mètres de hauteur. A 2 mètres du front de taille, on pratique des coups de mine de 2 mètres de profondeur sur 3 à 4 centimètres de diamètre, chargés de 1 kilogramme de poudre. Les produits de l'abatage sont évacués vers Decazeville, à travers un tunnel de 800 mètres de longueur environ.

Le prix de revient s'établit de la manière suivante pour les stériles *par mètre cube :*

		fr.
Sous-cave	main-d'œuvre	0,30
	poudre	0,05
Abatage	main-d'œuvre	0,05
	poudre	0,02
Entretien des voies et des wagonnets		0,06
Débitage des blocs		0,20
Chargement des déblais		0,42
Transport	conducteurs	0,03
	chevaux	0,07
	A reporter	1,20

	fr.
Report	1,20
Déchargement	0,09
Surveillance	0,06
	1,35

Pour la houille, on obtient les résultats suivants *par tonne :*

	fr.
Abatage et chargement	0,80
Poudre	0,10
Transport	0,12
Entretien des voies de roulage	0,06
Chevaux, entretien des wagons	0,20
Surveillance	0,10
Extinction des incendies.	0,35
	1,75

Comme il faut enlever environ trois mètres cubes de déblais par tonne de houille, le prix de revient *effectif* de cette dernière se détermine de la manière suivante :

	fr.
Frais d'exploitation.	1,73
Frais de découvert.	4,05
	5,78

565 — *Mine de lignite de Trifail (Styrie).* — La couche de combustible présente une épaisseur à peu près constante de 20 à 25 mètres. Elle est plissée et redressée par places. Elle repose sur l'argile plastique, et a pour recouvrement la série tertiaire. Le lignite renferme de 9 à 12 % de cendres, et peut fournir de 4000 à 4500 calories.

L'exploitation est mixte, et les stériles du travail à ciel ouvert sont introduits comme remblai dans la mine. Le découvert est conduit en grands gradins de 8 mètres de hauteur, tant pour le combustible

que dans les morts-terrains. L'abatage est placé par là dans des conditions très faciles, et le piqueur peut produire de 8 à 10 tonnes dans sa journée, payée 4 fr. Au contraire, le mineur, qui est chargé en outre du boisage et du remblayage dans les travaux souterrains, n'y peut produire plus de deux tonnes et demie.

Le recouvrement est abattu à la dynamite. A 5 mètres du bord du gradin, de 8 mètres de hauteur, on perce de 12 en 12 mètres, des trous de $0^m,15$ de diamètre et 7 mètres de profondeur. On les charge de 40 à 50 kilogrammes de dynamite, et on les tire par volées au moyen de l'électricité. L'introduction de ce nouvel explosif a procuré une économie de $0^f,125$ par mètre cube de calcaire en place. Mais l'avantage disparaît dans les argiles. Les chantiers occupent 500 ouvriers.

566 — *Mine de lignite de Dux* (*Bohême*) [1]. — La formation lignitifère, rattachée à l'époque éocène, s'étend, presque sans interruption, sur plus de cent kilomètres, entre la base méridionale de l'Erzgebirge et le Mittelgebirge. La couche de combustible est, en général, unique, et sa puissance, ordinairement comprise entre 10 et 18 mètres, atteint, en certaines places, 58 mètres. Le sondage de Kopitz, près de Brux, l'a même traversée sur une hauteur totale de 156 mètres, ce qu'il paraît difficile d'expliquer autrement que par un redressement. Cependant le pendage est ordinairement assez faible, et compris entre 5 et 8 degrés, atteignant 30 degrés dans le Sud. La couche repose quelquefois directement sur le gneiss, et, plus ordinairement, sur le terrain crétacé. Elle présente des affleurements, mais, la plupart du temps, elle se trouve dissimulée sous un recouvrement, dont l'épaisseur va jusqu'à 370 mètres.

Le gîte est exploité à ciel ouvert dans les environs de Dux. Il y présente une vingtaine de mètres de puissance, et 4 ou 5 degrés d'inclinaison. Le recouvrement est formé par une dizaine de mètres d'alluvions, que l'on commence par enlever, en les reportant en arrière, dans la partie déjà exploitée.

Le massif dénudé est limité à une longueur de 20 mètres environ

(1) Lallemand, *Annales*, 7e, XIX, 350.

(fig. 381 et 382), à partir de la face tombée, par une galerie de 12 mètres de longueur. On la surmonte d'un exhaussement vertical qui ne va pas tout à fait jusqu'au jour. On se guide, pour cela, d'après quelques sondages effectués à partir de la surface. On perfore alors la base de ce lopin, au moyen de galeries de $2^m,50$ de largeur et 2 mètres de hauteur, avec percements perpendiculaires, qui

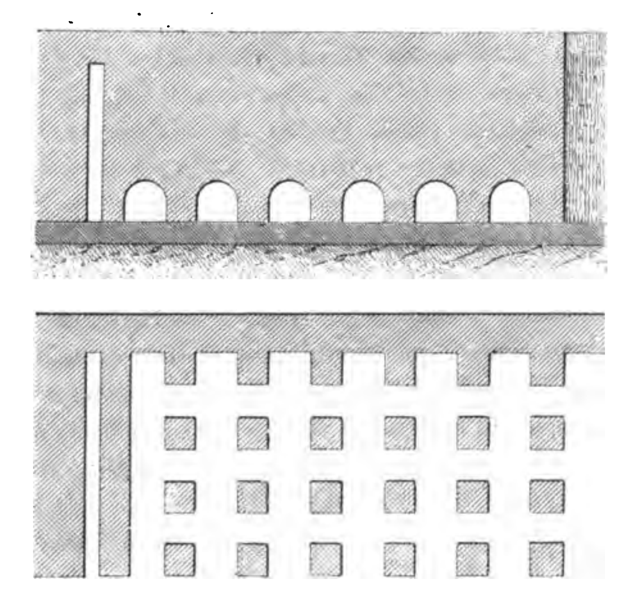


Fig. 381 et 382. Exploitation à ciel ouvert des lignites de Bohême (coupes verticale et horizontale).

laissent porter toute la masse sur des piliers de $1^m,50$ de côté. Dans chacun d'eux, on pratique un coup de mine de 1 mètre à la dynamite, et l'on fait sauter tout l'ensemble par l'électricité. On réalise ainsi une très grande activité de production, et une proportion élevée de gros : environ la moitié.

567 — *Tourbières* [1]. — Les tourbières constituent le dernier

[1] Ernest Bosc, *Traité complet de la tourbe*. — Peillon, *Exploitation de la tourbe* (*Annales du génie civil*, 1863). — Challeton de Bruchet, *La tourbe*. — Ribaucourt, *Instruction sur les tourbières*. — De Marsilly, Étude de la tourbe (*Annales*, 6e, XII, 347). — Hausding, *Industrielle Torfgewinnung*.

terme des formations de combustible dans la série géologique. Elles s'accroissent encore, à l'époque actuelle, dans certains bas-fonds marécageux. Quelques bancs de tourbe dépassent 5 mètres de puissance. Trois cas peuvent, en raison de cette situation, se présenter pour leur exploitation.

Supposons, en premier lieu, que des saignées profondes permettent de mettre à découvert la surface exploitable, pendant le printemps ; la saison d'été étant réservée pour la dessiccation des produits. Le tourbier se sert alors du petit louchet (fig. 113 et 114). Le long d'une ligne droite, tirée au cordeau, il détache une série de *pointes* de $0^m,30$ environ de profondeur. Un brouetteur les porte à l'étendage. Deux systèmes peuvent d'ailleurs être suivis pour cette exploitation : le *mode longitudinal* et le *mode carré*.

Dans le mode longitudinal, la taille s'étend en ligne droite autant que la situation le comporte. Le long de cette première série de pointes, un second tourbier en attaque une nouvelle ; un troisième en détache une autre à quelque distance, et ainsi de suite. D'après cela, le plan horizontal de l'ouvrage dessine des gradins couchés. Lorsque cet appareil a reçu un certain développement, on recommence toute l'opération pour une nouvelle tranche de $0^m,30$ de hauteur, et, après une certaine extension de son enlèvement, pour une troisième, etc. De cette manière, la coupe verticale du chantier dessinera de petits gradins droits.

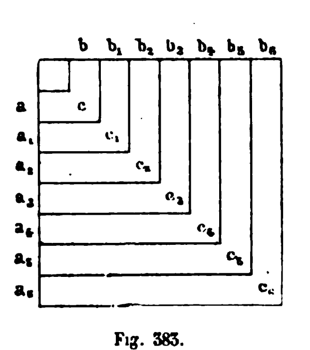


Fig. 383.

Dans le mode carré (fig. 383), deux tourbiers, partant d'un même point, lèvent des pointes sur des lignes rectangulaires *ac*, *bc*, se rencontrant en *c* ; a_1c_1, b_1c_1, se rencontrant en c_1 ; et ainsi de suite. Lorsque le carré, ainsi dénudé, a pris une certaine extension, on attaque une seconde tranche, puis une troisième, etc., en taillant la masse en gradins droits.

Il s'en faut naturellement de beaucoup que la rigueur de cette description s'observe effectivement dans les tourbières. Ce serait,

dans la plupart des cas, tout à fait impossible ; mais on pourrait, du moins, y apporter plus d'ordre qu'on ne le fait trop souvent. Les observations générales qui ont été présentées plus haut (n° 356), sur la nécessité de suivre un bon plan d'ensemble pour une exploitation minérale, prennent ici une importance spéciale, à cause des difficultés dues à la présence de l'eau, tant au point de vue du gaspillage du gîte, et même de sa perte irrémédiable, qu'en ce qui concerne la salubrité publique, souvent compromise par la création de surfaces paludéennes, dues à une mauvaise conduite des opérations.

Supposons, en second lieu, que la surface du sol soit presque à fleur d'eau, et que celle-ci soit profonde, le long de tranchées verticales qui se tiennent convenablement. On emploie alors le grand louchet (fig. 115 et 116), pour enlever d'un seul coup, sur $0^m,10$ de côté en carré, une hauteur de trois ou quatre pointes. Quand le tourbier a déposé ces prismes sur la berge, on les fractionne, et le brouetteur les porte à l'étendage. L'ouvrier se tiendra au besoin, pour mieux répartir la pression, sur une planche placée le long du bord du front de taille.

Lorsque le champ d'exploitation ne peut être aménagé en massifs d'une manière aussi nette, et qu'il renferme de vagues étendues d'eau, on emploie un troisième système, en le parcourant en barque, et curant le fond avec une drague (fig. 133). On ramène ainsi une sorte de bouillie de tourbe, que l'on égoutte un instant, et que l'on verse dans le bateau, puis, de là, sur le rivage.

568 — C'est alors que commencent les opérations de préparation ultérieure.

La bouillie de tourbe est répandue sur le pré, dans des caissons formés de planches posées de champ. Quand elle s'est ressuyée et raffermie, des hommes la *marchent*, d'abord avec des planchettes sous les pieds, puis pieds nus. On la découpe alors à la bêche, ou bien on la comprime dans des moules de briquetier. Les briquettes vont ensuite à l'étendage.

Cette dernière opération leur est commune avec les pointes obtenues directement à l'aide des louchets. Celles-ci occupant à peu

près autant de place à l'étendage que dans la formation, en raison des déchets et de l'empilage, il faut se procurer, pour chaque hectare d'exploitation, autant d'hectares de dessiccation que l'on tire de pointes superposées. On fait ordinairement quatre étendages successifs, en retournant les pointes pour les exposer à l'insolation sur leurs diverses faces. Les tas correspondant à ces phases successives de l'opération portent les noms de ***pilets***, ***cantelets***, ***haies*** et ***piles***. On y multiplie les claires-voies dans la masse, pour ménager la libre circulation de l'air.

Le dernier empilage est le plus important. Trop verte, la tourbe ne séchera plus, et fournira un mauvais combustible. Trop sèche, elle s'effrite, et donne beaucoup de déchet avant la vente. Les tas non vendus avant la mauvaise saison, sont recouverts de roseaux ou de chaume pour passer l'hiver.

569 — Dans la dessiccation, la tourbe éprouve un retrait de 60 à 70 0/0. On compte environ mille pointes séchées dans un mètre cube, pesant, suivant la variation des vides et de l'humidité, entre 250 et 450 kilogrammes. Cette quantité est fournie par 1^{mc},5 de massif. Elle revient à 4 fr. 50; soit 3 francs pour le mètre cube en place. Il faut, en outre, ajouter à ce chiffre, à titre de frais généraux, l'indemnité de surface, variable dans chaque cas avec les circonstances et la puissance exploitable.

La production de la tourbe en France [1] a été dans ces derniers temps (en milliers de tonnes):

1871	327
1872	325
1873	324
1874	323
1875	318
1876	333
1877	311
1878	296
1879	234
1880	248

[1] Statistique minérale pour l'année 1880, p. 30.

On y compte environ 867 tourbières principales, réparties en 133 groupes naturels, outre des milliers de petites exploitations sans importance. Les départements dont la production a dépassé dix mille tonnes, en 1880, sont les suivants :

Somme	83 920
Loire-Inférieure	28 500
Oise	26 900
Pas-de-Calais	25 219
Seine-et-Oise	14 836
Isère	14 728
Aisne	14 099

On peut estimer à 28 000 environ le nombre de personnes : hommes, femmes ou enfants, occupés à cette exploitation. Le prix moyen de la tourbe a été de 11 fr. 10, et sa valeur d'ensemble, sur les lieux d'extraction, s'est réduite à 2 754 839 francs, tandis qu'elle avait, en 1876, dépassé quatre millions.

570 — *Exemples divers.* — Je mentionnerai encore, en terminant, un certain nombre d'exemples intéressants, soit par l'étendue des travaux, soit par la rareté des gîtes ainsi exploités à ciel ouvert.

En ce qui concerne les carrières [1] : les meulières de la Ferté-sous-Jouarre ; les grès d'Orsay, de Melun ; les plâtrières de Sannois; les phosphates du Lot, des Ardennes ; les calcaires lithographiques de Solenhofen (Bavière) ; les marbres de Sablé (Sarthe) ; la serpentine chromifère des Quayrades, dans la baie de Cavalaire (Var) ; les kaolins de la Lizolle (Allier) ; la roche du Pouzin (Ardèche) [2].

Parmi les charbonnages : les découverts d'Aubin (le Volcan), Commentry, le Creusot, Montceau-les-Mines, Saint-Eloy, Belmez (la Terrible), Dombrowa (Nova).

Comme sels et substances diverses : les salpêtres (de soude)

[1] Il existe en France plus de 28 000 carrières à ciel ouvert, occupant 95 500 ouvriers.

[2] Cette masse glisse sur sa base, en descendant lentement sur le bourg de ce nom, qu'elle resserre contre le Rhône. On a déjà dépilé 200 000 mètres cubes pour s'opposer à cet envahissement.

du Pérou, l'alunite de la Tolfa (Civita-Vecchia), la boracite du Colorado, le bitume du lac de la Braie (île de la Trinité) [1], les exploitations d'ambre de la presqu'île de Samland (Prusse) [2], le guano du Chili et du Pérou [3].

Parmi les mines de fer : les mines en sac de Berry, de Champagne, de Franche-Comté ; les mines en masse de Filhols (Pyrénées-Orientales), Eisenerz (Styrie), Erzberg, Dannemora [4], Norberg, Nordmark, Taberg (Suède); Rio (île d'Elbe).

En ce qui concerne les autres métaux : les gîtes calaminaires de Moresnet (Vieille-Montagne), Saint-Laurent-le-Minier (Gard) ; les grès imprégnés de galène de Commern et de Mechernich (pays de Siegen); les poudingues de Marbach (Cologne), mélangés de carbonate de plomb ; les pyrites cuprifères de Tharsis (Huelva); le cinabre de Sulphurbank (Californie); les alluvions d'étain de Cornouailles, de Saxe ; les sables platinifères de Russie ; la mine d'argent d'Arendal (Norwège) ; les placers d'or de Victoria, de la Guyane, de Sibérie.

(1) Cumenge (*Annales*, 8e, I, 137).

(2) Elles fournissent par an une centaine de tonnes, c'est-à-dire à peu près les quatre cinquièmes de la production du monde entier.

(3) Iles Chinchas, et, sur la côte de la Cordillière : Guanape, Macabi, Pabellon, Tarapaca. Les détritus se sont amoncelés dans des ravins étroits, sur des hauteurs atteignant en certains points 50 mètres, que l'on enlève en gradins droits. La production totale est d'environ 500 000 tonnes par an (Detienne, *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IX, 401. — Pétrequin, Exploitations de salpêtre et de guano au Chili, *Annales de la société des sciences naturelles de Lyon*, 1881, n° 1.)

(4) Le filon de Dannemora est foncé en gradins droits sur 300 mètres de longueur, 30 à 50 mètres de largeur, avec des parois à pic de 150 mètres de hauteur.

CINQUIÈME PARTIE

ROULAGE

CHAPITRE XXV

TRANSPORTS SANS CHEMIN DE FER

§ 1

TRANSPORTS A CIEL OUVERT

571 — *Brouette.* — Nous avons, dès le début, établi dans ce cours deux divisions fondamentales, concernant, d'une part, l'attaque de la roche, et, de l'autre, les transports de toute nature, tant en ce qui concerne la matière utile, objet de l'exploitation, que pour les stériles dont on est obligé de se débarrasser accessoirement, et les matériaux auxiliaires que l'on se trouve conduit à introduire du dehors : bois, briques, moellons, mortier, panneaux, tuyaux, rails, machines, outils, explosifs, etc.; sans compter les liquides et les gaz, dont nous nous occuperons dans la septième et la huitième partie, ainsi que les hommes et les chevaux, dont le transport fera l'objet du chapitre L.

Nous avons également, en ce qui concerne le mouvement des solides, établi une distinction fondamentale, suivant qu'il s'agit, soit de lutter uniquement contre la gravité dans un parcours ri-

tous les 30 mètres, et chaque brouetteur parcourt indéfiniment la même travée dans les deux sens. Le retour à vide le repose périodiquement de la fatigue du premier trajet, indépendamment du temps nécessaire pour l'échange des brouettes, qui se meuvent toujours dans le même sens, et ne rebroussent chemin qu'au chantier et à la place de dépôt.

Le nombre effectif des rouleurs s'obtiendra donc, en multipliant celui des chargeurs par le quotient de la division du trajet entier par 30 mètres. Quant au nombre des brouettes, il est égal à la somme des nombres de rouleurs et de chargeurs, avec l'appoint nécessaire pour tenir compte des fausses manœuvres et des réparations.

Lorsque le terrain monte légèrement, on ne peut admettre des rampes supérieures à $^1/_{12}$ et, dans ce cas, le relai doit être réduit à 20 mètres. Si la pente est descendante, on lui laisse sa valeur normale de 30 mètres, en admettant que la fatigue nécessaire pour remonter la brouette vide, est compensée par un certain soulagement à la descente de la brouette pleine, en raison de la gravité.

Dans sa journée, un rouleur fait environ 450 voyages doubles, et transporte 15 mètres cubes. C'est donc également, d'après ce qui précède, la quantité que peut pelleter le chargeur.

574 — L'*effet utile*, dans les questions de transport, étant à la fois en raison du poids et de la distance à laquelle il se trouve porté, peut se mesurer par le produit de ces deux facteurs. Si l'on évalue le poids en tonnes, et la distance en kilomètres, l'unité d'effet utile correspondra au *transport d'une tonne à un kilomètre*. On l'appelle *tonne-kilométrique*.

Bien que cette quantité soit, dans les calculs, du même ordre d'homogénéité que le travail dynamique, elle ne doit pas être confondue avec lui. Pour le kilogrammètre, la force et la longueur que l'on associe par la multiplication, sont en même sens; avec la tonne kilométrique, elles sont perpendiculaires. En outre, la valeur brute, indépendamment de son application concrète, est un million de fois plus grande pour la seconde unité que pour la première. Pour employer, en ce qui concerne le brouettage, le second ordre

d'appréciations, il faudrait envisager le produit de la force impulsive (en kilogrammes) par le parcours (en mètres), de manière à mesurer (en kilogrammètres) le travail du manœuvre. Cette question peut présenter de l'intérêt quant à l'appréciation des moyens mis en œuvre, mais le résultat seul entre en ligne de compte, lorsqu'il s'agit d'effectuer la comparaison des divers modes de transport, et c'est lui que l'on exprime en tonnes kilométriques.

Dans le cas du brouettage, l'effet utile ainsi mesuré sera donc, pour la journée du rouleur :

$$(450.\ 0^{\text{kilom.}},030).\ 0^{\text{tonne}},070 = 0^{\text{tonne kilom.}},945.$$

Pratiquement, on admet de $^4/_5$ à 1 tonne kilométrique. A raison de 3 francs de salaire, le prix de la tonne kilométrique ressortira ainsi à 3 francs au minimum. Quant au travail dynamique, il sera de même, si l'on admet l'effort impulsif de 3 kilogrammes :

$$(450.30^{\text{m}}).\ 3^{\text{kg}} = 40\ 500^{\text{kgm}},$$

à quoi il convient d'ajouter un certain appoint, pour le travail développé dans le retour à vide [1].

575 — Comme intermédiaire entre le brouettage et l'usage du tombereau à cheval, on peut indiquer l'emploi de petites *charrettes à bras*, usité dans certaines carrières, mais qui ne mérite pas de nous arrêter longuement.

576 — *Tombereau.* — Un tombereau, pour un cheval et une route médiocres, peut être chargé de 5 hectolitres de terre ameublie, et, dans des conditions meilleures, de 8 hectolitres. Un cheval peut conduire ainsi dans sa journée, de $0^{\text{tonne}},7$ à 1 tonne, sur une distance de 10 ou 12 kilomètres, soit un total de 7 à 12 tonnes kilométriques. A raison de 6 francs pour la journée du cheval et du

[1] En effet, dans son *aide-mémoire* (page 14), Claudel indique, pour le brouettage, le chiffre de 43 200 kilogrammètres.

conducteur, le prix de la tonne kilométrique s'abaisse ainsi à 0 fr. 50.

Le cheval s'avance au pas à raison d'une vitesse de 40 à 50 mètres *par minute*, avec une allure sensiblement égale à plein ou à vide. Il peut marcher pendant 8 heures, avec 2 heures de repos fractionnées, soit en tout 10 heures. Il faudra, d'après cela, que le temps de chargement, qui constitue ces repos, dure, en principe, le quart du temps employé pour le trajet. Celui-ci étant une donnée immédiate dans chaque cas, fera connaître par approximation le temps du chargement, et, par conséquent, le nombre de chargeurs, puisque la capacité à remplir est également déterminée *a priori*. Ce nombre ne doit pas d'ailleurs dépasser 4, sous peine de confusion.

Un homme peut, dans sa journée, pelleter à cette hauteur 12 mètres cubes de terre ameublie. Le conducteur figure parmi les chargeurs, et il suffit de lui en adjoindre le nombre nécessaire. Il reste seul, ordinairement, pour effectuer le déchargement à la place de dépôt. On tient compte d'une constante de deux minutes pour cette opération, qui consiste à ôter le fond, débarrer le châssis, verser en arrière, racler, avancer la voiture, relever la caisse, rembarrer, remettre le fond.

Ces diverses conditions, pour rester suffisamment compatibles les unes avec les autres, imposent une limite à la distance à parcourir. Pour de trop courtes distances, le brouettage est préférable. Au delà de 300 ou 400 mètres, au contraire, on trouvera souvent avantage, dans un chantier d'une certaine importance, à substituer au transport sur essieu l'emploi des rails [1].

577 — *Wagon.* — La voie d'un *chemin de fer de terrassement* s'établit suivant les principes généraux que nous développerons dans le chapitre suivant pour les *chemins de fer de mine*, mais d'une manière beaucoup plus sommaire. Ce mode de transport peut devenir avantageux, même sur d'assez courtes distances, lorsque la pente

[1] Dans certaines exploitations, on se sert du charretage à bœufs. A Bilbao, la tonne kilométrique revient, avec ce procédé, à 1 fr. 40 ou 1 fr. 80.

est suffisante pour laisser descendre les trains sans moteur, par la seule action de la gravité. Un cheval remonte ensuite, à la fois, un certain nombre de wagons vides. Pour maîtriser la descente, on munit les véhicules, ou, au moins, quelques-uns d'entre eux, de freins. Le conducteur, monté sur l'arrière du wagonnet, pèse d'un pied sur l'extrémité d'un long levier, pour engager plus ou moins ce frein. Au besoin, l'on peut embarrer une ou plusieurs roues, de manière à substituer, pour ce qui les concerne, le frottement de glissement à la résistance au roulement, qui est beaucoup moindre.

Les wagonnets ont des roues basses, pour faciliter le chargement; et des essieux rapprochés, afin de pouvoir passer dans des courbes un peu raides. La caisse est articulée de manière à basculer en avant, autour de l'essieu antérieur, ou latéralement, sur une charnière longitudinale, en vue d'opérer le déversement, soit en tête de ligne, soit sur les côtés. On peut également l'effectuer *en baleine*. On dispose alors en prolongement de la tête du remblai une charpente volante, supportant une voie aérienne. Le fond des caisses est mobile, et peut s'ouvrir à l'aide de charnières disposées suivant les longs côtés. En déclavetant ce fond, on fait basculer ses deux parties par le poids des terres, qui tombent dans le vide.

Ces véhicules, de calibre variable, contiennent en général 1 ou 2 et même 3 mètres cubes. Ils pèsent vides 300 kg., avec un chargement de 1500 kg.; ou jusqu'à 1200 kg., pour charrier 3000 kg. de déblais.

Avec un emploi judicieux de ce moyen de transport, on a pu abaisser, dans certains cas, jusqu'à 0 fr. 25 le prix du transport *d'un mètre cube à un kilomètre*, qu'il ne faut pas confondre avec la tonne kilométrique.

§ 2

PORTAGE A DOS

578. — Les transports souterrains s'effectuent d'après un cer-

tain nombre de moyens différents, que nous résumerons dans le tableau suivant :

Portage a dos.
Trainage.
Brouettage souterrain.
Chien de mine.
Navigation souterraine.
Circulation aérienne.
Chemin de fer.

Ce dernier mode de transport, à lui seul, efface de beaucoup, pour l'importance, l'ensemble de tous les autres. Nous lui consacrerons, pour ce motif, les deux chapitres suivants, en terminant celui-ci par l'étude plus sommaire de tous les autres procédés.

Le plus élémentaire est le *portage à dos d'homme*. Il a été nécessairement le plus ancien de tous; et, bien que l'on doive le considérer à la fois comme inhumain et anti-économique, il est loin d'avoir disparu. Il convient même d'ajouter qu'il ne disparaîtra sans doute jamais totalement, car les deux défauts précédents disparaissent dans certains cas spéciaux, lorsqu'il s'agit de transporter des matières qui présentent une grande valeur sous un faible poids, et par des voies absolument irrégulières, dont l'appropriation au mouvement des véhicules exigerait des déboursés, que l'on peut éviter en les faisant seulement parcourir par des hommes. Une circonstance analogue peut encore se présenter dans certains travaux de recherches, pour lesquels on ne veut pas développer la dépense, avant d'être fixé sur leur avenir.

Mais, en dehors de ces conditions exceptionnelles, le portage à dos doit être rejeté comme absolument barbare. Jusqu'en 1843, l'extraction de certaines houillères d'Écosse se faisait par des femmes et des filles, qui montaient aux échelles avec des hottes, au risque d'être tuées ou blessées par la chute des fragments de charbon [1].

[1] *Les Mondes*, XXXIII, 242. — Simonin, *La vie souterraine*, p. 119.

Dans la première partie de ce siècle, les *sorteurs* de Saint-Étienne (1) s'acheminaient courbés sous le poids d'un sac, qu'ils retenaient sur leur dos au moyen d'une corde serrée entre les dents, afin de conserver l'usage de leurs mains pour leur lampe et leur béquille. Ils portaient ainsi des charges de 50 à 60 kilogrammes, pouvant même varier entre 40 et 70 kilogrammes, et parcouraient 4 à 6 kilomètres par jour. De là un rendement de $^1/_5$ à $^2/_5$ de tonne kilométrique. A raison d'un salaire de 2 fr. 50 par jour, le prix de la tonne kilométrique ressortait à 10 francs environ.

Jusqu'en 1859, le sortage d'une partie des minerais d'Allevard s'opérait en attachant simplement les plus gros morceaux au corps de l'homme.

Les *mendits* de Trets (Bouches-du-Rhône), il y a peu d'années encore, se courbaient horizontalement, en se soutenant des deux mains sur deux courtes béquilles, dans des galeries éclairées par des feux fixes. Ils portaient en équilibre sur le dos un panier, contenant environ 50 kilogrammes de lignite. Ils parcouraient ainsi, à chaque voyage, 200 mètres dans le sens horizontal, et 15 mètres verticalement. Le rendement revenait à un tiers de tonne kilométrique.

Les *courbatiers* des Pyrénées (2) portent 60 kilogrammes, et parfois des charges qui approchent de 100 kilogrammes, formées de minerais métalliques, très lourds sous un faible volume.

Les soufrières de Sicile, dont l'exploitation est absolument primitive, n'ont pas d'autre moyen de sortage que le portage à dos, à travers des passages tortueux, glissants et très inclinés (3). Les mineurs portent de 20 à 30 kilogrammes, suivant leur âge.

Dans certaines mines américaines de métaux précieux, les Indiens s'attachent au corps de petits paquets de minerai, de manière à conserver l'usage de leurs membres, pour la gymnastique nécessaire dans ces circuits difficiles. Les *tenateros* de la mine de Valentiana (Mexique) portaient autrefois, pendant six heures (4), des

(1) Combes, *Traité d'exploitation.* — Burat, *Traité d'exploitation.*
(2) Rancié (Ariège), Pierrefitte (Hautes-Pyrénées), etc.
(3) Ledoux, *Annales*, 7e, VII, 36.
(4) Évrard, *Moyens de transport*, I, 96.

charges de 100, et même 175 kilogrammes, dans des passages inclinés à plus de 30°. Le portage à dos est encore le seul moyen en usage. dans tout le district des mines d'argent du Cerro de Pasco (Pérou), qui renferme sans doute les mines les plus élevées du monde : 4300 mètres au-dessus du niveau de la mer.

On peut encore rattacher à ce mode de transport, celui qui se fait à bras, dans beaucoup de mines, au moyen de raisses, entre le front de taille et la cheminée, dans les ouvrages à gradins, ou le chariot sur la voie ferrée, dans les autres méthodes.

§ 3

TRAINAGE

579 — Le traînage sur le sol, par glissement simple, s'effectue à l'aide de ***bennes à patins***. On appelle ainsi des cuveaux, ou des paniers, munis de deux patins de fer ou de bois (fig. 384). Le traîneur les tire avec une corde attachée à une ceinture de cuir, à une bandoulière ou à une bricole. En plaçant un peu haut, sur le corps de l'homme, le point d'attache, on détermine, dans la force de traction, une composante verticale, qui tend à soulever l'avant des patins, et les aide à franchir les petits obstacles de la voie.



Fig. 384. Benne à patins.

A l'inverse du portage à dos, pour lequel la galerie peut rester quelconque, pourvu qu'elle ne présente pas de difficultés excessives. le traînage se trouve en relation étroite avec l'état de la sole. Trop dure, elle use les patins; trop molle, elle les embourbe et se laisse entamer par eux.

Elle ne doit offrir que des pentes modérées. C'est la raison d'être des traçages en demi-pentes (n° 422), quand le gîte se redresse au delà d'une certaine limite. On réduit alors la charge, et l'ouvrier

résiste, en se plaçant devant le panier et se laissant pousser à reculons vers le pied du talus. D'autres fois, il se tient à l'arrière, dans un poste moins dangereux, et guide sa benne avec un crochet appelé *gouvernail*. Il gravit, au retour, la même rampe en sens inverse, en se courbant et portant sur le dos son panier, en carapace de tortue.

Il ne doit y avoir aucune rampe remontée en charge. S'il est impossible de les éviter, elles doivent être du moins très courtes. On y installe alors un pousseur, ou bien on dispose à la partie supérieure une poulie de renvoi. L'ouvrier attache son panier à une corde passée sur cette poulie. Il monte seul au sommet, puis il redescend en tirant sur cette corde, et agissant en même temps par le poids de son corps. Il remonte ensuite de nouveau, détache le panier et continue son parcours. On peut enfin ménager en ces points une *rencontre*. Les deux paniers sont alors attachés à la même corde, et les traîneurs les accompagnent sur la pente, en agissant de concert.

Le traînage présente l'avantage de supprimer l'approchage du charbon, à la pelle ou dans des raisses, jusqu'à la voie ferrée disposée près du front de taille. Les paniers à patins sont, pour la desserte d'un atelier, plus indépendants que les wagonnets, et permettent des sections plus étroites dans le chantier et ses abords.

La charge peut varier, en palier, entre 60 et 120 kilogrammes, sur un parcours de 6 kilomètres. L'effet utile journalier oscille lui-même entre $^1/_4$ et 1 tonne kilométrique. Quelquefois le traînage est effectué par des chevaux avec une grande benne, ou un train formé de deux plus petites. On traîne ainsi de 200 à 700 kilogrammes, sur un parcours de 5 kilomètres, avec un rendement de 2 à 2,5 tonnes kilométriques. Si, au contraire, on emploie des enfants pour le traînage, les chiffres s'abaissent beaucoup, et l'on ne peut guère compter que sur $^1/_8$ de tonne kilométrique. L'unité d'effet utile peut, par suite, varier, en ce qui concerne ce procédé, depuis une dizaine de francs, pour ce dernier cas, jusqu'à 2 fr. 50 avec l'emploi des chevaux.

§ 4

BROUETTAGE SOUTERRAIN

580 — Le brouettage présente sur le trainage cet avantage, d'effectuer le glissement à la circonférence de l'essieu, et non de la jante. Le travail se trouve donc réduit dans le rapport des rayons. Tout au plus s'ajoute-t-il, d'un autre côté, le travail négatif de la résistance au roulement; mais ce dernier est comparativement faible.

On emploie, soit la brouette ordinaire, soit une brouette sans pieds; parfois des brouettes fermées à l'arrière, en forme de caisse ouverte seulement vers le haut. La charge peut être portée jusqu'à 100 kilogrammes, si le véhicule est judicieusement disposé; mais souvent elle atteint à peine les deux tiers de ce chiffre.

L'effet utile est moindre que pour le brouetteur de la surface, à cause des conditions moins favorables de l'intérieur. Il varie entre $^1/_4$ et $^3/_4$ de tonne kilométrique. On peut l'améliorer, en posant sur la sole un cours de planches, et approcher ainsi de 1 tonne kilométrique.

§ 5

CHIENS DE MINE

581 — Les *chemins de bois* ont été, pendant les derniers siècles, le moyen de locomotion par excellence pour les mines allemandes. Ils figurent encore à Schemnitz et dans quelques autres exploitations métalliques, quoiqu'ils soient de plus en plus en voie de diminution devant l'emploi des chemins de fer.

La voie est formée de deux longuerines longitudinales, de $0^m,10$ de large et $0^m,05$ d'épaisseur. Elles sont chevillées sur des traverses posées à terre. Leur écartement, bien différent de celui des rails de chemin de fer, n'est que de *trois centimètres*. Il sert à guider le véhicule au moyen du *clou*, petite tige de fer qui pend

verticalement sous l'essieu (fig. 385, 386). Le parement concave est garni de tôle, dans les coudes, pour prévenir leur usure par le clou, en raison de la force centrifuge. Quand les longuerines sont attaquées en forme d'ornières, on les retourne pour leur faire fournir une nouvelle campagne, moins prolongée que la première.

Le véhicule porte le nom, consacré par une pratique immémoriale, de *chien de mine* (¹). Il consiste en une caisse parallélépipédique ; étroite, en raison du peu de largeur des galeries, et du rapprochement des roues, qui doivent reposer sur les longuerines ; longue, pour racheter l'exiguïté de la dimension transversale. Les

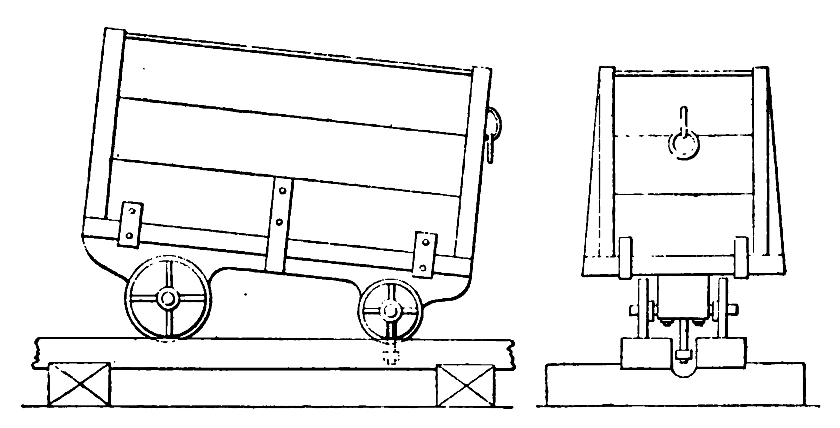


Fig. 385 et 386. Chien de mine.

roulettes sont placées sous la caisse, afin de ne pas réduire encore davantage la largeur. Elles sont petites, pour éviter d'augmenter la hauteur d'ensemble, ou de réduire d'autant celle de la caisse elle-même. Celles de devant sont encore moindres que les autres, et leur essieu se place tout à fait à la partie antérieure, pour faciliter le basculement du chien, quand on veut le vider en avant. L'essieu de derrière est rapproché du centre de gravité. De cette manière le véhicule se trouve presque équilibré. Le rouleur s'appuie alors sur l'arrière afin de soulager l'avant, pour faciliter le roulement des petites roues. Si le chien est trop grand pour être bas-

(¹) En Allemagne *Hund;* en Angleterre : *Dog.*

culé en avant, sa face antérieure est rendue mobile autour d'une charnière transversale, placée à la partie supérieure. En la déclavetant à la base, on la fait ouvrir par la pression de la charge, qui s'écoule alors au dehors. Le véhicule étant ainsi allégé, il devient possible de soulever l'arrière, pour compléter le déchargement. Lorsque deux rouleurs se rencontrent dans les galeries, on bascule sur le côté le chien vide, pour laisser passer celui qui est chargé. En raison de manœuvres aussi brutales, il est indispensable que ce véhicule soit établi d'une manière très robuste.

La charge varie entre 150 et 500 kilogrammes, suivant les dimensions des chiens et l'âge des rouleurs que l'on emploie pour leur manœuvre. L'effet utile s'abaisse jusqu'à $^3/_4$ de tonne kilométrique. On le porte à 1,50 et même 1,75 par homme, en associant deux rouleurs pour pousser des chiens de plus grandes dimensions.

§ 6

NAVIGATION SOUTERRAINE

582 — Un petit nombre de mines possèdent des galeries d'écoulement, dont la cunette présente une section suffisante pour porter des bateaux. On doit citer au premier rang, sous ce rapport, la houillère de Worsley ([1]), dont le système de batellerie souterraine a été établi, il y a environ un siècle, par Bradley, en reliant directement les travaux intérieurs avec les docks de Manchester, par un canal de navigation à ciel ouvert. L'ensemble forme un total de 16 lieues de développement.

Les galeries de navigation dessinent trois niveaux différents dans la mine ; mais les étages supérieur et inférieur concentrent leurs pro-

([1]) A la mine de Walkdenmoor, près de Worsley, se trouve un autre réseau de navigation souterraine de dix lieues de développement, auxquelles s'en ajoute une vingtaine au jour. D'autres exemples se rencontrent à Fuchsgrube (Basse-Silésie) sur 1400 mètres, à Zabrze (Haute-Silésie), à Clausthal (Hartz, puits du Bremerhohe), au puits Ottilia (Hartz, tiefe Wasserstrecke). Il y a eu, pendant quelque temps, un essai de navigation souterraine à Vialas. Citons enfin (pour mémoire, puisqu'il n'a pas été exécuté) le projet Dyèvre, d'un canal souterrain qui devait faire communiquer l'intérieur du bassin houiller de la Loire avec le cours du Rhône.

duits dans l'étage moyen. Des bateaux de petit modèle y transportent chacun six caisses rectangulaires, ou *tubs*, que l'on déverse, au nombre de trente-trois, dans les grands bateaux de l'étage moyen, après les y avoir descendus ou montés à l'aide d'un puits intérieur d'extraction. Ces bateaux vont ensuite, sans rompre charge, jusqu'à Manchester.

Pour la circulation intérieure, le haleur tire sur une main courante, formée d'un câble en fer qui est fixé au plafond de la galerie. Il détermine ainsi la propulsion du bateau, en marchant sur le plat-bord. Pour l'aider dans ce travail, on a donné au profil en long du canal une pente de un demi-millimètre par mètre. De distance en distance, des vannes le divisent en compartiments. A l'état de repos, l'eau y figure donc un escalier, dont les degrés, extrêmement allongés, n'ont qu'une hauteur minime. Celle-ci suffit néanmoins pour que, au moment où le haleur du premier bateau du convoi ouvre l'une des vannes, il se produise un courant, qui facilite le mouvement du train. Au retour, l'on n'a plus cette ressource; mais alors les bateaux sont vides, il ont moins de déplacement, et présentent moins de résistance. Le conducteur du dernier bateau referme toutes les vannes successivement.

L'eau de l'étage supérieur alimente, par son excédent, le niveau moyen. Les eaux du fond y sont relevées, à l'aide d'une machine d'épuisement. L'étage inférieur a été déterminé arbitrairement, d'après la profondeur à laquelle on comptait, dans l'origine, pousser l'exploitation de l'aval-pendage. Le niveau moyen se trouvait rigoureusement déterminé par les conditions de l'arrivée à Manchester. Quant à l'étage supérieur, il n'a pas de raison d'être obligatoire, dans cette remarquable conception. Il a été seulement introduit en raison de convenances locales.

583 — Le principe de la navigation souterraine se recommande au premier abord par des avantages importants, lorsque les circonstances sont favorables.

C'est d'abord l'énorme effet utile du haleur, qui s'élève alors à 30 tonnes kilométriques, tandis qu'il n'est guère que de 5, sur les chemins de fer ordinaires de mine, et s'abaisse, comme nous

l'avons vu, jusqu'à $\frac{1}{5}$ de tonne kilométrique, dans les conditions les moins favorables, ce qui représente un résultat 150 fois moindre que pour la navigation. Cette disproportion tient à ce que l'on peut, dans le cas actuel, opérer sur de très grandes masses, et. par suite, avec une grande lenteur, sans diminuer outre mesure l'activité de la production. Or le travail par unité de temps est, dans le halage, proportionnel au cube de la vitesse, lequel s'abaisse, dans ces conditions, à des proportions minimes. Le prix de la tonne kilométrique a pu être ainsi réduit à 0 fr. 10.

En outre, le réseau de navigation, une fois établi, exige moins de réparations que celui des chemins de fer; et, en se reliant avec des canaux extérieurs, il réalise une économie importante sur le transport extérieur, effectué sans frais de transbordement.

584 — En revanche, il présente les plus sérieux inconvénients. Les frais de premier établissement sont considérables. On ne pourrait créer une semblable organisation, qu'en opérant sur un massif considérable, assuré d'une longue production. Il faut avoir de grandes distances à parcourir, sans quoi les manœuvres de chargement et de déchargement aux extrémités prennent une importance relative, qui efface les avantages de l'économie réalisée sur la locomotion. Or la plupart des inconvénients acquièrent eux-mêmes une importance proportionnelle à ce développement du réseau.

On ne peut s'établir que dans des roches très compactes, non fissurées. Il faut, par suite, exploiter à l'aide de méthodes très sûres sous ce rapport, et en l'absence de vieux travaux, désordonnés et mal connus. La véritable utilité du système ne concerne, du reste, que l'amont-pendage, dont la galerie de navigation assure ainsi le drainage. L'aval-pendage, pour lequel il faut relever les eaux avec des machines, grèvera beaucoup plus l'opération. Le réseau ne pouvant se ramifier indéfiniment, de manière à pénétrer dans les tailles, il reste toujours à combiner, avec le système de batellerie, un certain transport secondaire. Si les réparations sont moins fréquentes qu'avec les chemins de fer, elles sont, en re-

vanche, beaucoup plus difficiles. La moindre avarie, un bateau coulé, peuvent paralyser pendant longtemps toute l'activité du trafic.

Pour tous ces motifs, le procédé de la navigation souterraine doit être considéré comme très intéressant, à titre de curiosité, mais probablement appelé à très peu d'applications, dans l'avenir.

§ 7

CIRCULATION AÉRIENNE

585 — *Système Palmer.* — On a essayé autrefois, sans grand succès ([1]), dans les galeries dont la sole tourmentée obligeait à un remaniement incessant des chemins de fer, le système Palmer (fig. 387). Il consiste en un rail unique, suspendu dans la galerie sur des corbeaux en charpente, que l'on fixe à l'un des piédroits. Un cuveau est suspendu à un galet à gorge, qui roule sur ce rail.

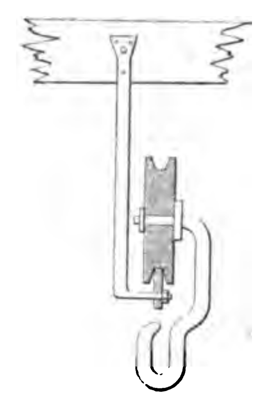


Fig. 387. Système Palmer.

On réduit ainsi considérablement le poids mort, mais au prix d'un ballottement fâcheux des véhicules, et d'un certain encombrement de la galerie. En outre, la paroi n'étant pas beaucoup plus solide que la sole, le rail se trouve faussé, et le transport en devient d'autant plus défectueux.

586 — *Zéonifères.* — Ce principe s'est beaucoup simplifié par la substitution, aux supports rigides, de câbles en fer tendus aux deux extrémités des travées à parcourir. On rencontre, par exemple,

([1]) A la Grand'Croix (Rive-de-Gier), à Marvelay (Saône-et-Loire), et en Angleterre. Ce système a été dernièrement l'objet d'une nouvelle tentative (*Rev. univ. des m. et u.*, 2ᵉ, III, 232).

ce système dans un montage intérieur de la mine de phillipsite de Pierrefitte, dont il eût été très coûteux de rebancher la sole, très dure, pour y établir un plan automoteur ordinaire.

Mais le véritable essor de ce système de *va-et-vient* s'est développé pour les transports à ciel ouvert, dans les pays de montagnes, au milieu de conditions locales, qui entraineraient des dépenses inabordables pour l'établissement de voies terrestres [1]. Elles sont

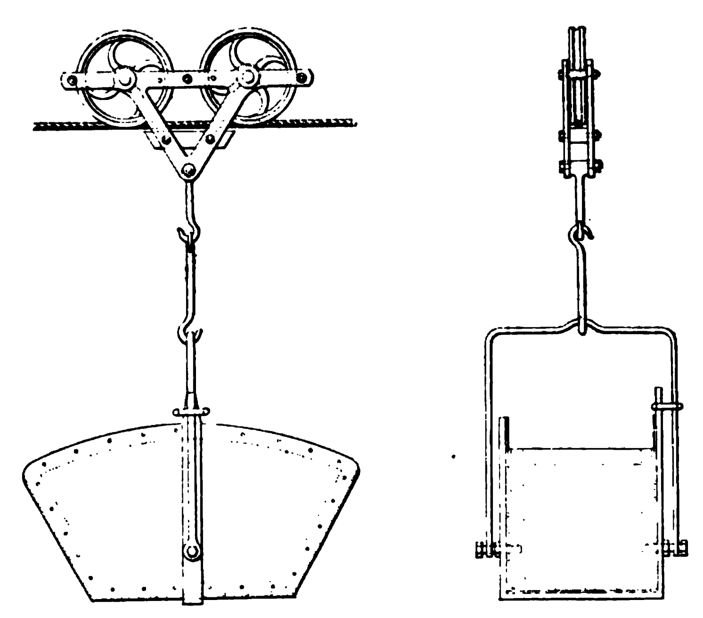


Fig. 388 et 389. Plan aérien, système Balan (élévations latérale et antérieure).

beaucoup plus réduites pour ces *plans aériens*, auxquels on a donné aussi le nom de *zéonifères* [2].

[1] On les emploie depuis longtemps pour l'exploitation des forêts. Il existait déjà, il y a deux siècles, un semblable va-et-vient dans l'île de Gozzo (*Machinæ novæ Fausti Verantii Siceni*). Parmi les applications à l'exploitation minérale, on peut citer: les mines de Saint-Pierre-d'Allevard (Isère), qui ont aujourd'hui remplacé leurs plans aériens par des plans automoteurs ordinaires; celles de Coutres (Hautes-Pyrénées); d'Extravernes (Haute-Savoie); du Fournel (Hautes-Alpes); de Gorge-Noire (Savoie); Pierrefitte, avec trois travées de 200, 500, 800 mètres; Saint-Martin-de-Queyrières (Hautes-Alpes); Sordières (Savoie); Raïbl (Carinthie); Sommo-Rostro (Biscaye); Vignusca (Carniole); les carrières de ciment de la Porte-de-France (Grenoble); de granite de Bardon-hill (Leicestershire); etc.

[2] *Bull. min.*, 2ᵉ, XII, 31.

Dans les systèmes Balan (fig. 388, 389), Bleichert [1], Otto [2], deux câbles porteurs sont tendus d'une manière fixe, quoique avec une flèche très accusée pour d'aussi grandes longueurs [3]. Chacun d'eux sert à la circulation d'un véhicule, formé de deux roulettes à gorge, assemblées avec un petit châssis. Celui-ci supporte, à l'aide d'un crochet, la benne de minerai, que l'on y accroche à la partie supérieure, et que l'on reprend en bas, pour la vider et la suspendre de nouveau.

Le châssis est attelé à l'un des brins d'un câble sans fin, plus

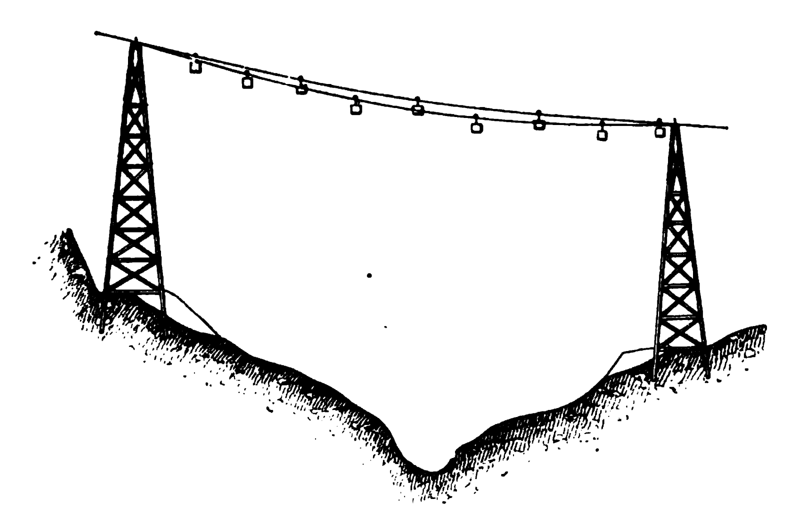


Fig. 390. Plan aérien, système Hodgson (élévation longitudinale).

mince que les porteurs. Ce câble passe sur des poulies de renvoi, placées aux extrémités de la travée. La poulie supérieure est munie d'un frein, pour modérer la descente du minerai, ou de son excédent de poids sur les matières utiles à l'exploitation, que l'on remonte dans la caisse vide.

(1) *Génie civil*, III, 301.
(2) *Génie civil*, III, 302.
(3) A Saint-Georges-d'Hurtières (Savoie), on franchit 1559 mètres de longueur et 600 mètres de dénivellation, avec 12 points d'appui intermédiaires, des câbles de 3 centimètres, un poids mort de 410 kilogrammes, et un poids utile de 1290 kilogrammes, à la vitesse de 5 mètres par seconde.

A Bilbao, on a construit des lignes aériennes de 2900 mètres.

Dans le système Hodgson ([1]), le câble sans fin porte un système de bennes équidistantes. Il constitue une sorte d'immense chaine à godets (fig. 390, 391). Les récipients sont espacés de 50 mètres, et portent 100 kilogrammes. La vitesse est alors incomparablement moins grande que dans le cas précédent : $1^m,60$ environ. Un moteur spécial est ordinairement nécessaire, la pesanteur ne pouvant, en général, assurer le fonctionnement avec une régularité suffisante ([2]).

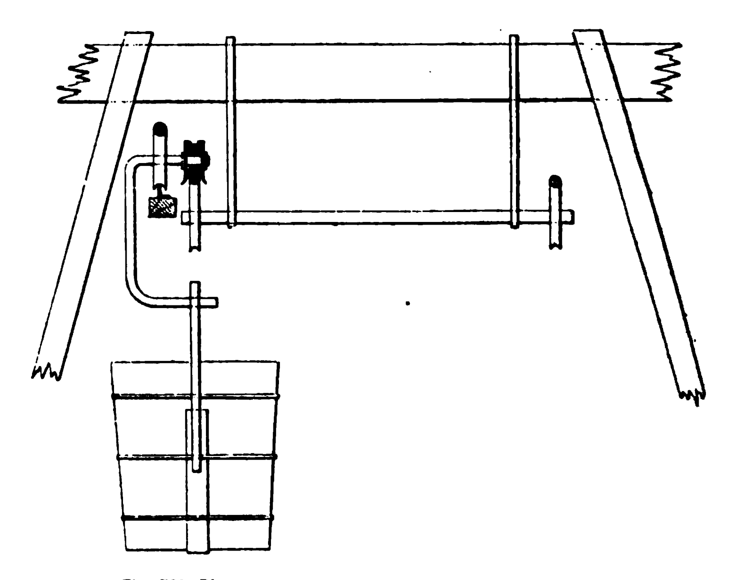


Fig. 391 Plan aérien, système Hodgson (coupe transversale).

587 — On peut rattacher indirectement à ce principe le transport à de petites distances, au moyen de toiles sans fin en sparterie. Ce moyen est fréquemment utilisé dans les ateliers de préparation mécanique, ou de fabrication d'agglomérés ([3]).

([1]) Cet appareil est appliqué aux mines de fer de Sommo-Rostro (*Génie civil*, III. 301), et aux houillères de Harewood (Colombie Anglaise) sur une longueur de 5600 mètres. Il a été aussi indiqué par MM. Pisker en Carinthie, et von Duecker en Prusse (Rossigneux, *CRM*, 1878, 42. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, III, 230; IV, 670).

([2]) Les systèmes Balan et Hodgson présentent entre eux une différence analogue à celle que nous rencontrerons plus tard (chap. XXIX) entre la traction mécanique du système corde-queue et celle de la chaîne flottante.

([3]) On en installe à Saint-Pierre-d'Allevard, qui auront 70 mètres de longueur.

Si la trajectoire, au lieu d'être sensiblement horizontale, se redresse sous une inclinaison marquée, on adapte à la chaîne sans fin des godets, qui la transforment en une sorte de noria, ou de drague. Ces organes sont usités pour le relevage des menus dans les fabriques de briquettes, et même dans l'intérieur de certaines mines [1].

[1] Ce système a été appliqué par M. George à L'Espérance et à Ougrée (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXIX, 105).

CHAPITRE XXVI

CHEMINS DE FER DE MINES

—

§ 1

VOIE NORMALE

588 — C'est dans les mines que le *chemin de fer* a pris naissance. Il s'est, de là, répandu à la surface, pour y devenir, par l'application de la vapeur, le plus merveilleux engin de locomotion de l'homme. Une industrie de cette importance forme, naturellement, l'objet de cours et de traités spéciaux. Ce ne sera cependant pas faire avec eux double emploi, que de consacrer ce chapitre et le suivant à l'étude du *chemin de fer de mines*, car il diffère profondément, sous beaucoup de rapports, du *chemin de fer à vapeur de la surface*.

La voie y est beaucoup plus étroite, en raison de l'exiguïté des galeries ; simple et légère, car elle est appelée à être souvent remaniée, et ne supporte, au lieu de lourdes locomotives à marchandises, que des véhicules très réduits, puisqu'ils sont destinés à être traînés par des hommes, et souvent même par des enfants. Les courbes y sont très raides, car on est gêné par les angles et le peu de largeur des galeries, au lieu de se développer en rase campagne. La vitesse reste hors de comparaison avec celle des trains à vapeur. Le déraillement, au lieu d'entraîner des catastrophes, ne constitue qu'un incident sans importance. Enfin, les plans inclinés armés de câbles, qui ne figurent dans les tracés de la superficie que

comme l'exception la plus rare, jouent dans les mines, ou leurs abords, un rôle essentiel (¹).

L'étude des chemins de fer de mines se divisera en deux parties distinctes, suivant qu'il s'agit de galeries sensiblement horizontales, ou de montages assez redressés pour que les wagons y doivent être enchaînés, au lieu de circuler librement. Ce dernier cas fera l'objet des chapitres XXVIII et XXIX. Quant aux conditions ordinaires, elles nous présentent deux ordres d'idées différents : l'étude de la voie, à laquelle nous consacrerons le présent chapitre, et celle du matériel roulant, qui formera l'objet du suivant.

Dans l'étude de la voie, nous aborderons successivement quatre ordres d'idées : la voie normale, les bifurcations, les pentes, les courbes.

589 — Les chemins de fer se rangent en deux classes, suivant que l'on y emploie le rail saillant (*rail-way*), ou le rail creux (*tram-way*). Ces derniers constituent la seule solution admissible dans les grandes villes, pour lesquelles le rail saillant apporterait un obstacle insurmontable à la circulation des voitures. Mais ils doivent être, au contraire, absolument proscrits de



Fig. 392. — Rail en U.

(¹) Ces chemins de fer à voie étroite, profil tourmenté et traction ralentie, tendent à se développer à la surface, à côté de la grande traction à vapeur. Déjà, en 1880, il en existait 5374 kilomètres au Brésil, 1656 en Suède et en Norwège, 647 à la Nouvelle-Zélande, 132 à l'Ile de la Réunion, etc.

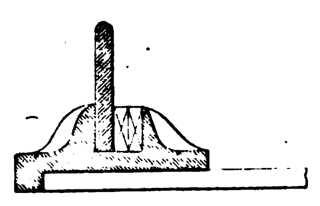
Je citerai, comme l'un des plus curieux, le chemin de fer de l'Himalaya, qui relie Calcutta à Darjeeling. La voie, en acier raffiné, a 0m,61 de largeur, 0m,81 pour l'espacement des traverses. Les pentes s'élèvent jusqu'à 0m,05 par mètre ; les courbes atteignent 2 à 3 mètres de rayon, avec des plaques d'appui sous les rails. La ligne a 580 kilomètres. Sa dernière section gravit 2255 mètres de verticale sur 80 kilomètres de développement. Les travaux, commencés en 1879, ont été terminés en juin 1882.

Parmi les chemins de fer à voie étroite et à ciel ouvert qui se trouvent en relation directe avec l'industrie minérale, on peut citer ceux de la compagnie de l'Aveyron, de Gessous et Trébiau, de Rochebelle, de Lalle, de Mokta ; du Flénu, de Trifail (Styrie), de Saint-Léon (Sardaigne), du Broelthal (Cologne), du Laurium, de Festiniog (Pays de Galles), etc.

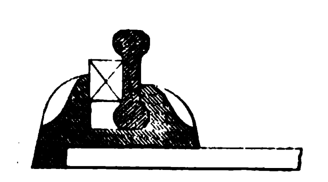
(Ledoux, chemins de fer à voie étroite, *Annales*, 7e, V, 329, 429. — *CRM*, août 1877, 3. — Leseurre, *Bull. min.*, 1re, XII. — Fousset, *Mémoire sur l'Algérie et les chemins de fer à voie étroite*. — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 3 septembre 1882, 360.)

l'intérieur des mines, à cause de leur disposition à s'encrasser; et ils n'y ont figuré que d'une manière éphémère.

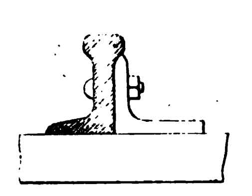
Les rails saillants se rapportent à trois types principaux [1].


Fig. 393. Rail méplat.

Le rail *méplat* (fig. 393) est une simple barre de fer, à section rectangulaire, posée de champ, pour offrir plus de résistance (n° 233). Il est fixé à l'aide d'un coin, soit au moyen d'un coussinet spécial, soit dans une fente de la traverse. Quelquefois la barre de fer, au lieu d'être plate, présente la forme d'une cornière. L'une des faces est posée à plat sur la traverse, à laquelle on la fixe avec des crampons.


Fig. 394. Rail à double champignon.

Le rail *à double champignon* (fig. 394) est pris dans des coussinets. La forme de sa section dérive de celle du double T, qui constitue le type rationnel de la résistance à la flexion. L'on y trouve, en outre, l'avantage de la possibilité du retournement, lorsque l'une des deux têtes est usée. Cependant, on reste exposé à ce que, par suite de sa déformation, elle refuse de rentrer dans le calibre du coussinet. Le profil en double champignon procure une assiette meilleure à la roue, qui se coupe davantage sur un fer plat. La voie est plus propre, car le plan de roulement se trouve élevé de $0^{m},08$ environ au-dessus des traverses. Le ballast. devenu plus épais, défend mieux ces dernières contre le pied des chevaux. L'assemblage du rail à la traverse, au moyen de coussinets, est plus solide que le mode sommaire employé, la plupart du temps, pour le fer plat.


Fig. 395. Rail à demi-patin

[1] On peut y ajouter, pour mémoire, le rail en U, ou rail Brunel (fig. 392), et le rail en V renversé, ou rail Barlow, que l'on rencontre dans quelques exploitations anglaises.

Le rail *à patin*, ou rail Vignole, et le rail à demi-patin (fig. 395) présentent l'avantage d'une excellente assiette; mais ils obligent à renoncer à la faculté du retournement.

590 — La transformation du rail de fer en rail Bessemer, si générale à la surface, commence à pénétrer dans les mines ([1]). L'acier se recommande, en effet, par de notables avantages. Il procure une durée au moins triple de celle du rail de fer qui correspond aux mêmes conditions. D'après les résultats du temps déjà écoulé, on espère qu'elle pourra être de 30 ans, pour les galeries de roulage, et même 50 ans, dans les meilleures conditions; 25 ans seulement dans les dépilages, qui occasionnent une certaine perte. Cependant on pense pouvoir, après sa durée normale en service ordinaire, demander au rail Bessemer quelque service dans les dépilages. Ce laps de 30 années pourrait correspondre à un trafic total de 9 millions de bennes, représentant 5 millions de tonnes par la réunion de leur poids mort et du poids utile. L'usure du métal fondu est plus uniforme que celle du fer laminé, qui a tendance à s'exfolier. Ce rail, plus léger, se cintre plus facilement dans les courbes.

J'inscrirai ici deux exemples de rails Bessemer à double champignon. La première colonne se rapporte à la mine de Carmaux, et la seconde à celle de Commentry :

Hauteur du rail	$0^{m},065$	$0^{m},0650$
Largeur du champignon . .	$0^{m},022$	$0^{m},0195$
Épaisseur de l'âme	$0^{m},008$	$0^{m},0062$
Poids du mètre courant. . .	$5^{kg},600$	$6^{kg},0000$

Le devis de la voie de Carmaux s'établit de la manière suivante, par mètre courant :

	fr.	fr.
Rail Bessemer, 2 mètres à	32,90	3,70
2 Traverses, avec coussinet en fonte à	1,75	3,50
4 Coins en bois à	0,01	0,04
Pose		0,16
		7,40

([1]) H. et P. Fayol, *CRM*, 1877, février, 8; avril, 3; juin, 15 — *Bull. min.* 2e, VII, 798.

Si, au lieu d'employer des coussinets de fonte, on se contente d'entailler les traverses, le prix s'abaisse à 2 fr. 50.

591 — Les rails en fer pèsent depuis 3 kilogrammes par mètre (pour chariot de 300 kilogrammes) jusqu'à 10 kilogrammes (avec un wagon d'une tonne et demie). On adopte, le plus souvent, un poids de 4 à 8 kilogrammes, pour des véhicules de 500 à 1200 kilogrammes. Le calibre du rail méplat varie avec le poids du wagonnet, d'après le tableau suivant (¹).

POIDS DU WAGONNET CHARGÉ	RAIL		
	HAUTEUR	LARGEUR	POIDS PAR MÈTRE COURANT
kilogr.	mètres	mètres	kilogr.
300	0,040	0,010	3,11
500	0,050	0,010	3,89
700	0,055	0,012	4,67
900	0,060	0,015	7,00
1 200	0,070	0,015	7,82
1 500	0,070	0,018	9,81

La longueur du rail est de 5 à 6 mètres, sur les voies destinées à une certaine durée, 2 à 3 seulement, pour celles qui sont souvent remaniées. Les bouts sont coupés d'équerre ou en biseau. Ils sont jointifs, sans qu'il soit nécessaire de laisser du jeu pour leur dilatation, comme à la surface, où ils se trouvent exposés aux effets de l'insolation et aux variations des saisons. On les réunit bout à bout à l'aide d'éclisses, pour donner de la rigidité à la voie, surtout lorsque la sole est susceptible de travailler. Ces éclisses sont à trous ronds, et non oblongs, comme lorsqu'il s'agit de laisser une latitude à cette dilatation.

Les rails ne sauraient trouver, par leur faible base, une assiette suffisante dans le sol. Ils sont toujours supportés par des pièces de bois. La plupart du temps, on les assemble directement à des tra-

(¹) Callon, *Cours d'exploitation des mines*, II, 80. Ces valeurs supposent que l'on établisse 3 traverses pour 2 mètres de longueur. Si cet espacement devait augmenter, il faudrait renforcer le rail.

verses. Le rail Vignole se fixe cependant sur des longuerines, qui reposent elles-mêmes sur les traverses. Le chêne forme la meilleure essence pour cet usage.

On a proposé également des voies entièrement métalliques (fig. 396). Leur prix est, à la vérité, triple de celui du bois, mais elles se recommandent par leur grande solidité. De plus, elles sont inusables. Mais si, par suite d'une certaine négligence, on laisse

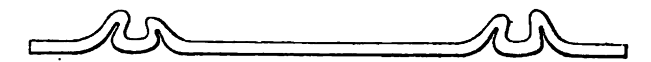


Fig. 396. Traverses métalliques, système Legrand et Salkin.

égarer des pièces dans les remaniements de voies, on perd tout l'avantage de la combinaison. Il convient de dire également, que les traverses métalliques présentent une assiette moins bonne dans le sol, et un assemblage moins satisfaisant avec le rail, que le mode ordinaire.

La largeur de voie reste comprise entre 0m,45 et 0m,90. Cette donnée a besoin d'une grande constance, et doit être vérifiée pendant la pose avec un calibre. D'une manière générale, le soin que l'on apportera dans la confection des voies produira une économie sensible dans les transports. La longueur des traverses est égale à celle de la voie, augmentée de 0m,10 de chaque côté. Leur intervalle d'axe en axe varie de 0m,60 à 1 mètre. Le rapprochement tend à prévenir la flexion des rails. L'équarrissage est, en général, de 0m,08 sur 0m,10.

Pour des rails en fer à patins, et des véhicules pesant entre 500 et 1200 kilogrammes, le prix de revient du mètre courant de voie oscillera entre 8 et 12 francs. Pour les voies légères établies avec le rail méplat, il tombera à 4 ou 6 francs, et même l'on pourra encore retirer sur cette valeur un appoint de 1 fr. 50 ou 2 francs, en reportant la voie sur un autre point.

Le tableau suivant [1] fournit, pour ces diverses données, un certain nombre de points de comparaison.

[1] Dressé à l'aide des intéressants documents rassemblés par M. Pernolet, pour l'agenda-Dunod 1882, p. 83.

DÉSIGNATION		CHARGE	LARGEUR de VOIE	ÉCARTEMENT des TRAVERSES	POIDS DU RAIL PAR MÈTRE COURANT			OBSERVATIONS
MINES	BASSINS				VOIES principales	VOIES secondaires	PLANS inclinés	
		kilogr.	mètres	mètres	kilogr.	kilogr.	kilogr.	
Eston.	Yorkshire	2 489	0,914	»	14,90	14,90	14,90	
Blanzy	Saône-et-Loire	1 360	0,800	»	9,16	»	»	
Bességes	Gard	1 330	0,800	0,65	9,00	7,00	»	
Bellevue	Liège	1 250	»	»	9,50	»	»	
Horloz	Id.	1 040	»	0,55	12,20	9,20	9,20	
Wearmouth.	Newcastle	717	0,771	0,92	13,70	7,94	7,94	Rail Barlow.
Verein-President . .	Westphalie	715	0,600	0,80	7,00	7,00	7,00	
Forster-Pit	Newcastle	700	0,800	0,91	16,85	16,85	16,85	
Sulzbach	Sarrebrück	690	0,700	0,60	12,80	5,60	5,60	
Anzin.	Nord	670	0,600	0,60	6,25	5,25	6,60	
Page-Bank	Durham	660	0,650	0,91	10,92	8,92	8,92	Rail Barlow.
Trieu-Kaisin.	Charleroi	660	»	0,55	6,00	»	»	
Commentry	Allier	653	0,565	0,33	7,40	7,00	»	Rail Bessemer.
Anna	Westphalie	650	0,470	0,75	9,37	6,25	6,25	
Cheratte	Liège	650	0,550	»	6,00	»	»	
Levant-du-Flenu. . .	Mons	632	0,580	0,65	9,00	5,75	7,00	Traverses métalliques.
Bois-du-Luc.	Id.	630	»	»	10,00	10,00	10,00	Id. id.
Montrambert	Loire	590	0,500	0,60	10,00	10,00	10,00	
Streppy-Bracquegnies.	Centre belge	520	»	»	10,00	»	»	
Lens	Pas-de-Calais	518	0,600	0,50	5,40	5,40	5,40	
Monceau-Fontaine . .	Charleroi	510	»	0,70	9,00	5,50	5,50	
Brynn-Hall	Wigan	508	0,645	0,91	6,94	6,94	6,94	Rail Barlow.
Clifton-Hall	Manchester	507	0,560	1,30	9,92	9,92	9,92	
Produits	Mons	500	0,530	0,60	5,75	5,75	5,75	Traverses métalliques.
California-Pit	Wigan	455	0,645	0,91	7,90	7,90	7,90	Rail Barlow.
Townley	Burnley	280	0,000	1,83	13,80	13,80	13,80	Cornière en fonte pour rail.
Centrum	Westphalie	»	0,550	0,75	7,50	6,25	6,25	

§ 2

BIFURCATIONS

592 — Les *têtes de voie* des recettes sont dallées à l'aide de plaques de fonte, portant des saillies qui se raccordent aux rails, et viennent en mourant se réduire à rien, pour faciliter l'engagement des wagonnets vides, qui reviennent du jour. On a soin de strier ces plaques, pour assurer le pied des chevaux.

Aux *croisements* à angle droit, on installe des plaques analogues, sur lesquelles le chariot, après avoir quitté les rails, est tourné brusquement de 90°, pour s'engager sur la voie perpendiculaire (fig. 397).

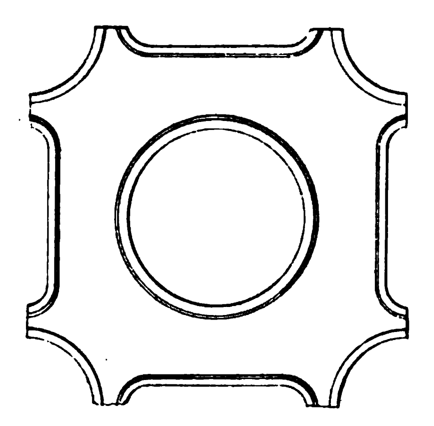


Fig. 397. Plaque de manœuvre.

Dans une *bifurcation* (fig. 398), ou une *trifurcation* (fig. 399) [1], on laisse aux deux rails extérieurs leur continuité, qui n'apporte aucun obstacle. On interrompt les rails intérieurs à leur point d'intersection, pour permettre le passage des mentonnets, et l'on retrousse leurs extrémités, en face de l'angle aigu formé par les tronçons, afin de faciliter l'engagement de ces mentonnets. En abaissant de ce point une normale sur le rail opposé, l'on y détermine une région d'indécision pour le guidage des roues, dans laquelle on établit un *contre-rail*, afin que le boudin se trouve, en cet endroit, maintenu dans les deux sens. Ce contre-rail a lui-même ses bouts retroussés, de manière que le mentonnet s'engage franchement dans ce passage étroit. On double, dans ces appareils, le nombre des traverses, en réduisant à

[1] A. Evrard. *Traité des moyens de transport*. II, 256 à 260.

moitié leur intervalle ordinaire, afin d'assurer la solidarité de l'ensemble et la précision des dimensions.

On termine par des *aiguilles* mobiles, ceux des rails qui doivent se raccorder tangentiellement avec les rails extérieurs. Suivant que l'aiguille est ouverte ou fermée, le train qui vient du *tronc commun* s'engagera sur l'une ou l'autre des *branches*. Quant aux trains qui

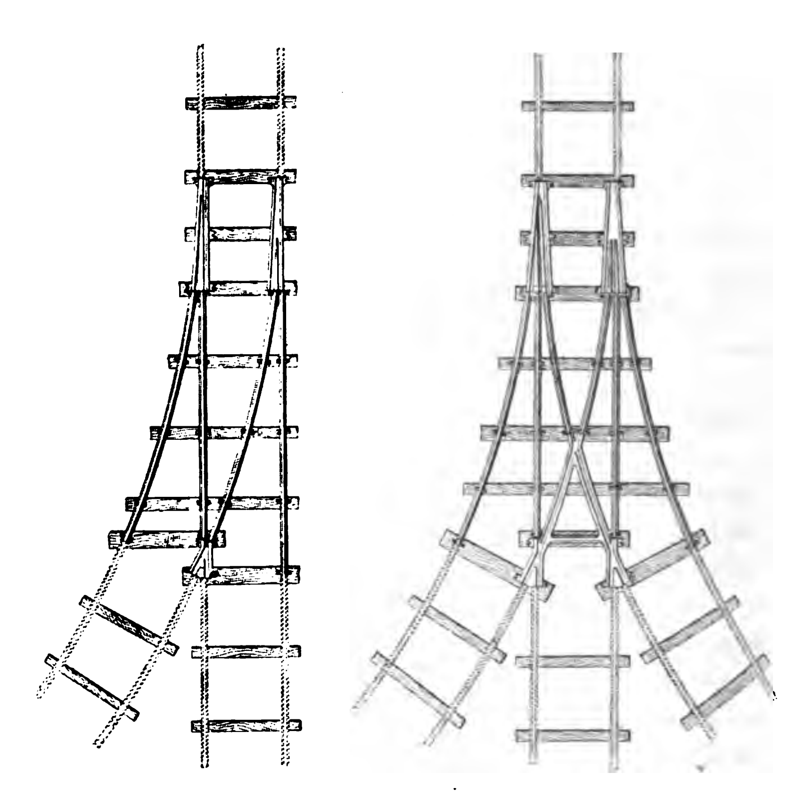


Fig. 398. Bifurcation. Fig. 399. Trifurcation.

viennent des branches, si l'aiguille leur barre le passage, ils parviennent néanmoins sur le tronc, en *faisant* eux-mêmes cette aiguille, au moyen de la pression exercée sur elle par le mentonnet.

Quelquefois l'on supprime l'aiguille (fig. 400), dans les voies où ne circulent que des wagons isolés. Un rail fixe s'approche très près de la position de tangence, et c'est à l'aide d'un tour de main que

le rouleur, en appuyant sur le chariot d'un côté ou de l'autre, le pousse sur le prolongement rectiligne, ou l'engage sur la voie déviée.

Dans une troisième variante, destinée aux évitements [1], on

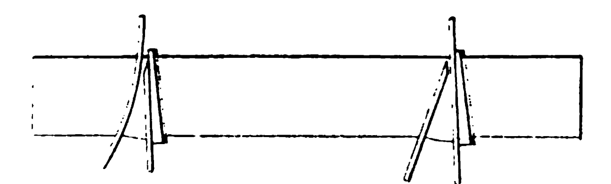


Fig. 400. Bifurcation sans aiguille.

s'arrange pour que le train prenne toujours sur sa droite, la seconde voie servant pour le retour. La bifurcation est alors formée d'une plaque (fig. 401) venue de fonte avec des rails en saillie. Pour le train montant, le mentonnet de la roue de gauche rencontre, à partir de A, une sorte de *coteau* assez raide, de quelques centimètres de hauteur, la région ABCD formant un *plateau* par rapport à la *plaine* ABCMN. Cet obstacle dévie naturellement le train du côté de la moindre résistance, et celui-ci s'engage sur le trajet AA′, BB′, CC′. Inversement, lorsque le second train se présente par DD′, BB′, AA′, il n'éprouve aucune difficulté à descendre, par son mentonnet de droite, le petit coteau AB, qui produit seulement un cahot sans importance.

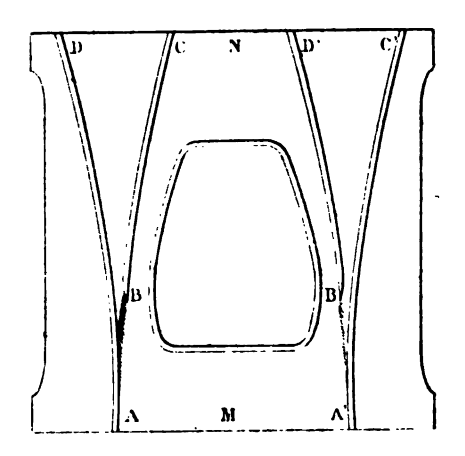


Fig. 401. Plaque de bifurcation.

On dispose des *gares d'évitement*, pour la rencontre des trains,

[1] Graissessac (Quatre-Mines-Réunies).

dans les galeries à une seule voie. Les conducteurs doivent s'y attendre les uns les autres, quand ils reconnaissent, par le bruit du roulement, qu'un convoi est déjà engagé dans la travée suivante. Ces gares doivent, d'après cela, être suffisamment multipliées, pour que les trains y stationnent le moins longtemps possible. Lorsque le cheval doit pouvoir repasser de tête en queue du convoi, il faut laisser à l'entrevoie une largeur suffisante. C'est, d'ailleurs, un des dangers de la circulation dans les mines, que le peu de largeur des galeries, en raison duquel on risque d'être serré contre la paroi par le passage des trains.

§ 3

PENTES

593 — *Equations fondamentales.* — La question des pentes présente une très grande importance. En effet, le coefficient de traction n'étant que de quelques millièmes, comme nous le verrons bientôt, une inclinaison, ayant elle-même une valeur de quelques millièmes, suffira pour l'affecter d'une manière très notable. Cette sensibilité sera, en outre, d'autant plus accusée, que le matériel sera établi avec plus de précision. La pente doit être bien uniforme. C'est, du reste, un principe absolu, que le roulage effectué par l'homme ou le cheval doit toujours procéder en descendant, sans contre-pentes.

Si le chariot n'était soumis qu'à la gravité et aux résistances passives, les choses se passeraient de la manière suivante. Pour toutes les inclinaisons comprises entre le *palier* horizontal et un certain angle, que nous appellerons *pente de roulement*, le véhicule reste immobile, et il rentre bientôt dans le repos, si on le lance avec une certaine vitesse. Pour cette pente précise, la vitesse se conservera d'une manière uniforme. Au delà, et jusqu'à une autre inclinaison, que nous pouvons appeler *pente de glissement* [1], le mou-

[1] Elle est égale à l'angle de frottement, lequel a pour tangente trigonométrique le coefficient de frottement. Pour le glissement des métaux à sec, on peut admettre

vement prendra naissance de lui-même, et sa vitesse s'accroîtra avec une accélération qui est de plus en plus marquée, au fur et à mesure que l'angle augmente. On a la ressource de la modérer en embarrant une ou plusieurs roues, de manière à substituer, pour ce qui les concerne, le frottement à la résistance au roulement, d'une valeur beaucoup moindre. Mais, si l'on atteint la pente de glissement, lors même que toutes les roues seraient embarrées, le système descendrait à l'état de traîneau, avec une accélération qui, d'abord nulle pour ce degré précis d'inclinaison, continuera à être croissante en même temps que la pente. On n'a plus alors d'autre moyen de modérer le mouvement que d'enchaîner le chariot, en opposant à sa descente l'action d'un frein fixe. C'est le mécanisme des plans automoteurs, auxquels nous consacrerons le chapitre XXVIII. Si donc l'on tient à conserver l'indépendance des véhicules, c'est l'inclinaison elle-même qu'il faut restreindre, en remplaçant, par des voies thiernes les lignes de plus grande pente.

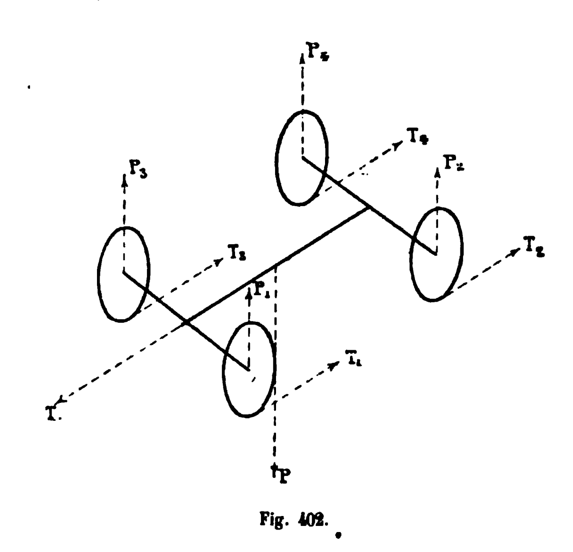


Fig. 402.

594 — Supposons maintenant un wagonnet (fig. 402) actionné par un moteur spécial, outre la pesanteur, et parcourant une pente assez faible pour que la vitesse puisse demeurer constante. Proposons-nous de déterminer la force impulsive qui sera, pour cela, nécessaire.

Le centre de gravité ayant un mouvement rectiligne et uniforme, toutes les forces extérieures devront se faire équilibre, si on

(Poncelet, *Introduction à la mécanique industrielle*, 1841, p. 486) la valeur : $f = 0,18$. L'angle correspondant est alors égal à 10° 12′ 10″.

les transporte sur ce point. Nous sommes donc autorisés à égaler à zéro la somme de leurs projections sur l'axe de la voie. Désignons, à cet effet, par T la force motrice (qui comprend l'action impulsive du moteur, et la composante tangentielle de la gravité), et par T_1, T_2, T_3, T_4, les composantes tangentielles de l'action exercée par les rails sur la jante des quatre roues. On aura ainsi :

$$(1) \qquad T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - T = 0.$$

Considérons maintenant un second système matériel, en supprimant, dans le précédent, tous les organes tournants, et nous bornant à la partie qui est animée d'un mouvement de translation, savoir : la caisse et le chargement. Soient P son poids total, et P_1, P_2, P_3, P_4, les composantes verticales des réactions développées dans les boîtes à graisse. On pourra écrire, en raison de la translation rectiligne et uniforme, l'équation de projections verticales :

$$(2) \qquad P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P = 0,$$

en y négligeant la projection verticale des cinq forces qui figurent dans l'équation (1), et qui sont dirigées suivant une droite inclinée de quelques millièmes seulement [1].

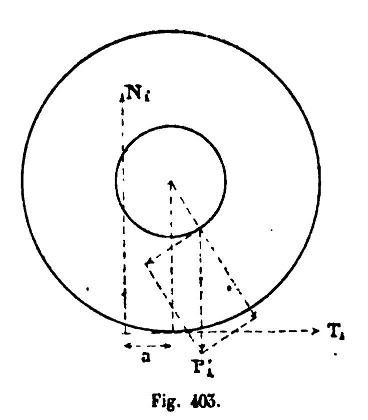


Fig. 403.

595 — Envisageons enfin, comme troisième système matériel, l'une des roues, prise isolément (fig. 403) et supposée, pour fixer les idées, folle sur son essieu [2]. Son mouvement absolu

[1] En effet, l'erreur ainsi commise ne sera que de quelques millièmes de ces forces, beaucoup moindres elles-mêmes que celles qui figurent déjà dans l'équation (2), car la traction ne doit être qu'une faible fraction du poids transporté.

[2] Nous verrons plus loin (n° 617) le moyen très simple d'étendre ces considérations au cas où les roues sont, deux par deux, solidaires avec leur essieu.

peut se décomposer géométriquement en deux autres, savoir : le mouvement d'entraînement de la caisse, et une rotation uniforme autour de son axe, fixé à cette caisse. Pour l'étude dynamique de ce mouvement relatif, on doit, d'après un théorème général, adjoindre aux forces réelles la force centrifuge composée et la force d'inertie d'entraînement. Mais, dans le cas actuel, l'une et l'autre sont identiquement nulles, puisque le mouvement d'entraînement est une translation rectiligne et uniforme.

Quant aux forces réelles, il en existe trois, à savoir : le poids ϖ_1 de la roue et l'action des deux corps avec lesquels elle se trouve en contact : le rail et la fusée de l'essieu. Le centre de gravité de la roue étant situé sur l'axe, et, par conséquent, en repos relatif, les forces extérieures doivent se faire équilibre, si on les y transporte par la pensée. On aura donc, d'une part, l'équation de projections verticales :

$$(3) \qquad N_1 = P_1 + \varpi_1,$$

si N_1 marque la réaction normale du rail, que nous pouvons confondre avec sa composante verticale ; en second lieu, une équation de projections sur l'axe de la voie. Comme celle du poids ϖ_1 peut y être négligée, cette relation exigera l'égalité de la composante tangentielle T_1 de l'action du rail, et de celle de la force de traction transmise à la roue par la fusée. Puisque, du reste, la traction est nécessairement une faible fraction de la charge, on voit par là que T_1 est d'une valeur très inférieure à celle des forces verticales, telles que P_1. Cependant nous ne pouvons négliger indistinctement ces forces tangentielles, sans nous rendre compte, au préalable, de la manière dont elles interviennent dans l'équation du mouvement de la roue.

Ce mouvement étant une rotation uniforme, nous devons égaler à zéro la somme des moments de toutes les forces par rapport à l'axe. Le poids ϖ_1 en disparaît de lui-même, puisqu'il est appliqué au centre de gravité, qui est situé sur l'axe. L'action tangentielle T_1 du rail a pour bras de levier le rayon R de la roue, et pour moment :

$$(4) \qquad T_1R.$$

La composante de l'action de la fusée, parallèle et égale à T_1, ayant pour bras de levier une fraction seulement du rayon r de la fusée, lequel est très inférieur à R, son moment pourra être négligé devant le précédent. Ce dernier ne saurait d'ailleurs disparaître lui-même devant le moment de la composante verticale P_1, bien que T_1 soit très faible en comparaison, attendu qu'une disproportion analogue, mais inverse, existe entre le bras de levier R de T_1 et celui de P_1 qui est encore une fraction de r.

Pour évaluer ce moment, remarquons que P_1 forme maintenant l'action totale de l'essieu, puisque nous avons négligé sa seconde composante. Décomposons de nouveau cette force, suivant la tangente et la normale de la circonférence de la fusée. Cette dernière composante, rencontrant l'axe, n'a pas de moment. La composante tangentielle a pour valeur, d'après la théorie du frottement [1] :

$$\frac{f}{\sqrt{1+f^2}} P_1;$$

mais nous pouvons la réduire à la forme plus simple :

$$fP_1.$$

En effet, l'erreur relative ainsi commise a pour expression :

$$\sqrt{1+f^2}-1.$$

Or, on peut admettre pour f la valeur [2]

$$f = 0{,}05, \tag{5}$$

et, dès lors, cette erreur relative devient $\frac{1}{800}$, ce qui excède évidemment beaucoup le degré de précision dont on pourrait répondre, pour la réalisation de la pente qu'il s'agit de calculer. Le bras de

[1] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 359.

[2] Wood, *Traité des chemins de fer*, 132. — Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, III, 609.

levier de cette composante tangentielle étant d'ailleurs r, nous aurons définitivement, pour le moment total de l'action de la fusée :

$$(6) \qquad fP_1r.$$

Quant à la réaction normale N_1 du rail, la théorie de la résistance au roulement nous apprend qu'elle doit être envisagée comme passant en avant du point de contact géométrique, à une distance a, doublement spécifique. On peut admettre, d'ailleurs, pour le roulement de fonte sur fer [1] :

$$(7) \qquad a = 0^{m},001.$$

Le moment de cette réaction sera donc N_1a, ou, d'après l'équation (3) :

$$(8) \qquad (P_1 + \varpi_1)a.$$

Si donc nous réunissons maintenant les valeurs (4), (6), (8), des moments de ces diverses forces, l'équation se posera de la manière suivante :

$$T_1R - fP_1r - (P_1 + \varpi_1)a = 0.$$

On en tire :

$$(9) \qquad T_1 = \frac{fr}{R} P_1 + a(P_1 + \varpi_1).$$

Imaginons maintenant que l'on reproduise le même raisonne-

[1] Wood, *loco citato*, p. 115. — Couche, *loco citato*, III, 606.
Cette valeur, applicable aux chemins de fer à vapeur, devrait sans doute être augmentée dans l'intérieur des mines, pour tenir compte de la diminution du rayon et de l'état des rails. Mais comme, en même temps, la vitesse est incomparablement moindre, et que, dès lors, certaines résistances qui dépendent de son carré dans les expériences de Wood deviennent inappréciables, nous conserverons la même valeur, mais en la considérant comme un minimum. C'est, sans doute, en raison de sa petitesse, que les auteurs qui ont traité la question des pentes dans les mines, ont omis d'en tenir compte. Mais, en réalité, a est du même ordre de grandeur que fr, et cette correction nous a paru indispensable.

ment pour chacune des trois autres roues, en remplaçant l'indice 1 successivement par les indices 2, 3, 4; et ajoutons membre à membre les quatre formules ainsi obtenues. Il viendra par là :

$$T_1+T_2+T_3+T_4=\left(\frac{fr}{R}+a\right)(P_1+P_2+P_3+P_4)+a(\varpi_1+\varpi_2+\varpi_3+\varpi_4).$$

Nous représenterons par ϖ le poids total de la partie tournante. Si, en outre, nous nous reportons aux relations (1) et (2), cette dernière équation deviendra :

$$(10) \qquad T=\left(\frac{fr}{R}+a\right)P+a\varpi.$$

596 — Il convient actuellement de mettre en évidence la composition des forces P et T. Désignons, à cet effet, par p la *charge utile*, c'est-à-dire le poids du minerai transporté, en appelant α et β les rapports à cette charge, des deux parties du *poids mort*, à savoir : la portion en translation, et la partie tournante. Ces coefficients formeront les deux caractéristiques du matériel roulant que l'on emploie. Quoique variables d'une mine à l'autre, ils s'écartent beaucoup moins, en général, d'une certaine moyenne, que les poids eux-mêmes, qui peuvent changer dans une très large proportion. Avec ces notations, on pourra écrire :

$$(11) \qquad P=p\,(1+\alpha), \qquad \varpi=p\beta.$$

Quant à la force motrice T, nous y devons distinguer l'action impulsive F, directement appliquée par le moteur, homme [1] ou cheval, et, en outre, la composante tangentielle de la gravité. Comme la pesanteur agit sur tout l'ensemble $p\,(1+\alpha+\beta)$, si nous appelons i l'inclinaison de la voie, cette composante aura pour valeur $p\,(1+\alpha+\beta)\sin i$, ou, plus simplement : $p\,(1+\alpha+\beta)\,i$ [2].

[1] L'ouvrier employé à ce service est appelé *rouleur*, *herscheur*, *hierscheur*, *scloneur*.

[2] En effet, l'erreur absolue ainsi commise étant inférieure à $\frac{i^3}{6}$, l'erreur relative

On a donc :

$$(12) \qquad T = F + p(1 + \alpha + \beta)\, i,$$

et la relation (10) devient :

$$(13) \qquad \frac{F}{p} = \frac{fr}{R}(1 + \alpha) + \left(\frac{a}{R} - i\right)(1 + \alpha + \beta).$$

Telle est l'équation fondamentale, qui fait connaître la force impulsive.

597 — Il y aurait lieu, maintenant, de reprendre une analyse toute semblable, pour le mouvement inverse du wagon, lorsqu'il remonte la rampe à vide. Mais il est inutile, pour cela, de repasser par les mêmes intermédiaires. Remarquons, en effet, que la disparition de la charge utile revient à supprimer l'unité, à l'intérieur de la parenthèse qui figure dans l'évaluation du poids total $p(1 + \alpha + \beta)$, ou de celui $p(1 + \alpha)$ de la partie en translation. D'un autre côté, pour exprimer que la composante de la pesanteur agit alors en sens contraire, il suffit de changer le signe de i. Avec ces modifications, l'équation (13) devient :

$$(14) \qquad \frac{F'}{p} = \frac{fr}{R}\alpha + \left(\frac{a}{R} + i\right)(\alpha + \beta).$$

Si le wagon était remonté sur la rampe, plein de remblai, en revenant de l'accrochage ou du plan incliné, au lieu de supprimer l'unité, nous devrions la remplacer par γ, en désignant par γp la charge de remblai. On aurait ainsi :

$$\frac{F''}{p} = \frac{fr}{R}(\alpha + \gamma) + \left(\frac{a}{R} + i\right)(\alpha + \beta + \gamma).$$

sera moindre que $\frac{i^2}{6}$. Si donc i atteignait la valeur 0,002, cette erreur relative resterait encore au-dessous de 0,00000067, quantité inappréciable.

Mais je me contenterai, pour ne pas trop m'étendre, de discuter les deux premiers modes de traction.

598 — *Discussion des équations.* — Envisageons, en premier lieu, le transport sur palier. Il suffit, pour cela, d'introduire dans les équations (13) et (14) l'hypothèse :

$$i = 0.$$

On aura ainsi, pour la traction du wagon plein :

$$\text{(15)} \qquad \frac{F_0}{p} = \frac{fr}{R}(1 + \alpha) + \frac{a}{R}(1 + \alpha + \beta).$$

et pour celle du wagon vide :

$$\text{(16)} \qquad \frac{F'_0}{p} = \frac{fr}{R}\alpha + \frac{a}{R}(\alpha + \beta).$$

599 — Cherchons, en second lieu, à déterminer la pente de roulement spontané, dont il a été question plus haut (n° 595) : c'est-à-dire celle qui est strictement suffisante pour que le wagon descende seul, d'un mouvement uniforme.

Cette inclinaison i_1 s'obtiendra, en supposant nulle la valeur de la traction :

$$F_1 = 0,$$

dans l'équation (13) du mouvement descendant. On tire de là :

$$\text{(17)} \qquad i_1 = \frac{fr(1 + \alpha) + a(1 + \alpha + \beta)}{R(1 + \alpha + \beta)}.$$

Quant à l'effort nécessaire pour remonter, sur cette rampe, le wagon vide, nous l'obtiendrons, en remplaçant dans la formule (14) i_1 par sa valeur (17). Il vient ainsi pour le coefficient de traction :

$$\text{(18)} \qquad \frac{F'_1}{p} = \frac{fr[\beta + 2\alpha(1 + \alpha + \beta)] + 2a(\alpha + \beta)(1 + \alpha + \beta)}{R(1 + \alpha + \beta)}.$$

600 — Un troisième système consiste à disposer la voie avec une telle pente, que l'effort à développer par le moteur soit le même dans les deux sens.

Cette inclinaison i_2 s'obtiendra, en égalant les valeurs (13) et (14) des tractions à plein et à vide :

$$F_2 = F'_2,$$

ce qui donne

$$(19) \qquad i_2 = \frac{fr + a}{R\,(1 + 2\alpha + 2\beta)}.$$

La valeur commune de ces efforts de traction nous sera fournie par la substitution de cette expression, à la place de i, dans l'une ou l'autre des deux formules (13) et (14). On obtient ainsi :

$$(20) \qquad \frac{F_2}{p} = \frac{F'_2}{p} = \frac{fr\,[\beta + 2\alpha\,(1 + \alpha + \beta)] + 2a\,(\alpha + \beta)\,(1 + \alpha + \beta)}{R\,(1 + 2\alpha + 2\beta),}.$$

601 — Parmi ces trois systèmes, la traction en palier ne constitue qu'un cas particulier. C'est sur les deux derniers modes que doit se concentrer l'attention. Nous les désignerons par les dénominations de ***roulage spontané*** et ***roulage égalisé***.

Le premier convient surtout lorsque l'homme est employé comme moteur. Dans ce cas, le rouleur pousse le wagon pour démarrer. Quand il l'a lancé à la vitesse convenable, il monte sur l'arrière, et se repose ainsi pendant la descente du véhicule. Il emploie seulement son travail à la remonte du chariot vide. Pour les chevaux, au contraire, qui marchent successivement dans les deux sens, il est rationnel de rendre le travail uniforme. Le roulage égalisé est d'ailleurs employé également pour les herscheurs. Il y a donc lieu d'en comparer les résultats à ceux du précédent.

Le rapport des forces impulsives (18) et (20) a pour expression :

$$(21) \qquad \frac{F'_1}{F'_2} = \frac{1 + 2\alpha + 2\beta}{1 + \alpha + \beta}.$$

Le mode spontané exige donc, pour le retour, le plus grand des deux efforts, comme c'était d'ailleurs évident à l'avance. Nous voyons que l'*excédent proportionnel* a pour valeur :

$$(22) \qquad \frac{\alpha + \beta}{1 + \alpha + \beta}.$$

Pour comparer, non plus les intensités en kilogrammes, mais les effets utiles en tonnes kilométriques, nous devons d'abord avoir soin de faire cette comparaison *à égalité de fatigue musculaire* pour le herscheur, sans quoi ce rapprochement n'aurait aucune valeur. Or, en négligeant le temps de la descente rapide de l'homme sur le chariot, on peut admettre que les deux rouleurs exercent, pendant tout le temps, les efforts respectifs F'_1 et F'_2, et, par conséquent, que les fatigues qu'ils en ressentent sont proportionnelles à ces intensités. Commençons donc par disposer des poids transportés par eux : p_1 et p_2, de manière à avoir l'égalité :

$$F'_1 = F'_2.$$

Il faut évidemment, pour cela, que ces poids varient, à égalité de force, dans le rapport inverse de celui des forces (21) à égalité de poids :

$$(23) \qquad \frac{P_1}{P_2} = \frac{1 + \alpha + \beta}{1 + 2\alpha + 2\beta},$$

ou que l'on transporte, dans le mode égalisé, un *excédent proportionnel* de poids marqué par l'expression (22).

Cela posé, puisque nous négligeons le temps de la descente rapide du scloneur dans le mode spontané, nous devons admettre qu'il fait deux fois plus de voyages, avec sa charge p_1, que le second avec la sienne p_2. Leurs effets utiles seront donc dans le rapport de $2p_1$ à p_2, lequel a pour expression (23) :

$$\frac{2(1 + \alpha + \beta)}{1 + 2\alpha + 2\beta}.$$

On voit, par conséquent, que le rendement est plus élevé avec le mode spontané qu'avec le roulage égalisé, et que l'*excédent proportionnel* a pour valeur :

(24) $$\frac{1}{1 + 2\alpha + 2\beta}.$$

602 — *Résultats numériques.* — Pour obtenir une idée de la valeur effective de ces divers résultats, nous admettrons comme une moyenne acceptable, d'après le tableau du n° 627, que le poids mort est la moitié du poids utile :

(25) $$\alpha + \beta = \frac{1}{2}.$$

Si donc on transporte le même poids suivant les deux modes, il faut, avec le roulage spontané, un excédent proportionnel de force impulsive, qui a pour valeur (22) :

$$\frac{\alpha + \beta}{1 + (\alpha + \beta)} = \frac{1}{3}.$$

Si, au contraire, on fatigue également les hommes, en transportant avec le mode égalisé, un tiers en sus de poids utile, on réalise, dans le mode spontané, un excédent proportionnel d'effet utile, qui a pour expression (24) :

$$\frac{1}{1 + 2(\alpha + \beta)} = \frac{1}{2}.$$

603 — Admettons maintenant, pour les poids de la caisse et des roues, le rapport de 5 à 2 :

(26) $$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{5}{2}.$$

Il suit alors des deux équations (25) et (26), qui relient α et β :

$$\alpha = \frac{5}{14} = 0,3571, \qquad \beta = \frac{1}{7} = 0,1429.$$

Nous prendrons enfin pour les rayons :

$$R = 0^{m},1500, \qquad r = 0^{m},0150.$$

Dans ces conditions, il vient pour les pentes des deux modes de traction, (5) et (7) :

$$i_1 = 0,0078, \qquad i_2 = 0,0058;$$

et pour les coefficients de traction correspondants, (18) et (20) :

$$\frac{F'_1}{p} = 0,0107, \qquad \frac{F'_2}{p} = 0,0080.$$

Quant aux tractions sur palier, à plein ou à vide, elles ont pour valeurs (15) et (16) :

$$\frac{F_0}{p} = 0,0168, \qquad \frac{F'_0}{p} = 0,0051.$$

604 — M. Grand, par une méthode qui lui est propre [1], a déterminé expérimentalement le coefficient de traction en palier. Il a trouvé que la boîte à huile dont il est l'inventeur (fig. 410), et qui réalise un graissage continu et perfectionné, jusqu'à un certain point exceptionnel par rapport aux données ordinaires de l'industrie souterraine, abaisse ce rapport à 60 pour 100 environ de la valeur que cet ingénieur a obtenue, en même temps, avec l'ancien matériel des mines de Carmaux. Nous envisagerons donc ici de préférence ce dernier mode de roulage, comme plus rapproché des conditions moyennes, auxquelles se rapportent les valeurs numériques adoptées ci-dessus pour les résistances passives. Les expériences de M. Grand fournissent, à cet égard, la valeur :

$$\frac{F_0}{p\,(1+\alpha+\beta)} = \frac{1}{87} = 0,0114,$$

[1] *Bull. min.*, 2e, VII, 379.

pour le rapport de la force de traction au poids *total*. Or nous avons trouvé, en réduisant le résultat précédent à cette même forme :

$$\frac{F_0}{p\,(1 + \alpha + \beta)} = \frac{2}{3} \cdot 0{,}0168 = 0{,}0112.$$

Il est impossible de trouver un accord plus complet.

605 — Pour permettre la comparaison des divers modes de traction sur les chemins de fer de mine, nous présenterons ici les valeurs renfermées dans le tableau suivant ([1]) :

MODE de ROULAGE	MOTEUR		POIDS UTILE	DISTANCE PARCOURUE une seule fois	EFFET UTILE	SALAIRE JOURNALIER	PRIX de LA TONNE KILOMÉTRIQUE
			kilogr.	kilom.	T. kilom.	francs	francs
SPONTANÉ	Homme.		500	16	8,0	3,00	0,37
ÉGALISÉ	Homme ([2])	Enfant . .	250	6	1,5	2,00	1,75
		Rouleur. .	500	8	4,0	3,00	0,75
	Cheval ([3])	Mauvaise ventilation	5 000	10	50,0	6,00	0,12
		Bonne ventilation	8 000	12	96,0	6,00	0,06

([2]) Avec les grands wagons de Bessèges, on arrive à réduire le prix de la tonne kilométrique à 0f,40, y compris le graissage, la réparation et l'amortissement du matériel.

([3]) Ces chiffres, particulièrement favorables, ne concernent que la traction des trains tout organisés, sans avoir égard aux pertes de temps pour les services de détail. A Lens, le prix moyen de la tonne kilométrique développée *effectivement* par les chevaux est de 0f,266.

Comme point de comparaison, on peut noter que ce prix devient, pour les locomotives du jour en plaine, pour la même Compagnie : 0f,062. Il atteint, en pays de montagnes, 0f,120 à 0f,150 sur le chemin de fer industriel de la mine de Saint-Pierre-d'Allevard.

Dans les mines de Lens, le prix moyen effectif de la tonne kilométrique pour tous les modes de transport réunis, y compris les plans a utomoteurs, est de 0 fr. 542. Les quantités de tonnes kilométriques qui figurent dans cet ensemble sont de 21,32 pour 100, en ce qui

([1]) Dressé d'après les indications fournies par le *Cours d'exploitation des mines* de Callon, II, 115.

concerne les hommes; 64,04 pour les chevaux; 10,64 sur les plans inclinés. La longueur moyenne des relais est de 218^{m},58 pour les hommes; 698^{m},50 avec les chevaux; 109^{m},10 sur les plans automoteurs. La moyenne générale est, par suite, de 1026^{m},18.

§ 4

COURBES

606 — *Inclinaison transversale de la voie.* — D'après la loi de l'inertie, le centre de gravité du véhicule ne se déviera de la ligne droite que si une force, exercée par le rail extérieur, vient l'y contraindre. Dès lors, en vertu du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, ce rail subira, par réciprocité, un effort égal, en sens contraire. La voie éprouve donc, dans les courbes, un supplément de fatigue, et réclame, pour cette raison, un supplément de solidité. L'usage est, à cet égard, de doubler le nombre des traverses, en réduisant leur intervalle à moitié.

Après avoir ainsi commandé le mouvement du centre de gravité en ligne courbe, il faut encore se préoccuper du mouvement du véhicule par rapport à ce centre, et s'assurer que le wagon continuera à se déplacer dans un plan horizontal, sans chavirer en dehors de la voie. En effet, si l'on applique, par la pensée, au centre de gravité, deux forces égales et contraires, ayant pour direction et pour intensité celles de l'action du rail extérieur, l'une d'elles sera employée, comme il vient d'être dit, à déterminer la courbure de la trajectoire de ce centre. Quant à la seconde, elle formera, avec la pression effective du rail, un couple, qui tendra à faire verser le chariot du côté de la convexité de la courbe. Il faudra, par suite, opposer à cette tendance au déversement en dehors, une propension égale à tomber en dedans. On donne, dans ce but, à la voie, une certaine inclinaison transversale, en relevant son rail extérieur à un niveau un peu supérieur à celui du rail interne. Il y a lieu, par conséquent, de déterminer avec précision la valeur de cette surélévation.

Or le poids MP (fig. 404), que je désignerai par P, et la réaction normale MN de la voie, doivent se composer sur le centre de gravité, de manière à lui fournir, par leur résultante MR, la force totale nécessaire pour la production du mouvement de rotation uniforme dont on veut le voir animé, avec la vitesse v et dans un cercle de rayon ρ. On sait que cette dernière est la force centripète, dirigée suivant le rayon horizontal de la courbe, avec une valeur égale à $\frac{P}{g}\frac{v^2}{\rho}$. Le triangle MPR, dans le parallélogramme de ces forces, est semblable au triangle ABC, car ils ont leurs côtés respectivement perpendiculaires. Ils donnent dès lors la proportion :

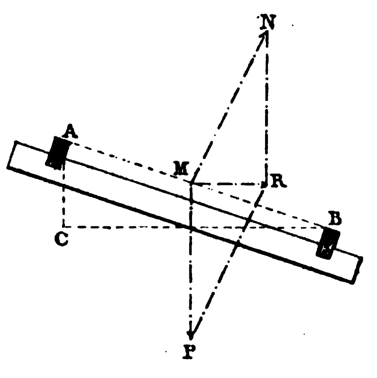


Fig. 404.

$$\frac{AC}{BC} = \frac{\frac{Pv^2}{g\rho}}{P}.$$

Si donc on appelle h le surexhaussement cherché AC du rail extérieur, et que l'on confonde, par une approximation bien suffisante, BC avec la largeur de voie l, dont cette longueur est la projection, il viendra :

$$h = \frac{lv^2}{g\rho}. \quad (1)$$

Admettons, par exemple, les données suivantes :

$l = 0^m,6$ $\rho = 4^m,0$ $v = 1^m,2$ $g = 9^m,8.$

on trouve alors [1] :

$$h = 0^m,022.$$

[1] Dans cet exemple, l'erreur relative commise en raison de l'approximation pré-

607 — La formule (1) met, d'ailleurs, en évidence l'insuffisance de cette solution. En effet, h y est une fonction de la vitesse v, tandis que la valeur de la surélévation du rail, une fois réalisée, restera constante. Il subsistera donc, après que l'on aura fait ce choix, en attribuant à v une valeur moyenne, une tendance à verser en dehors, pour les passages rapides, et en dedans, pour les mouvements lents. A la vérité, cet inconvénient, très marqué pour les chemins de fer de la surface, en raison de la grande différence d'allure qui distingue les trains express des convois de marchandises, se trouve fort atténué dans les mines, où les divers trains n'ont *a priori* aucun motif de présenter des écarts importants de vitesse.

Il existe, en revanche, dans le cas actuel, une cause de perturbation que l'on ne rencontre pas avec les chemins de fer à vapeur. Il sera bon, par suite, d'en tenir compte, en diminuant quelque peu l'élévation théorique, dans le cas du roulage effectué par les chevaux. Alors, en effet (fig. 405), en raison de la grande raideur des courbes, la direction de la traction exercée par le collier C du cheval sur le crochet d'attelage A, ne saurait être considérée comme tangente au cercle. Elle présente une certaine composante vers l'intérieur, qui entrera en ligne de compte, dans la formation de la force centripète, et diminuera d'autant l'appoint à fournir par la pesanteur, au moyen de l'inclinaison transversale.

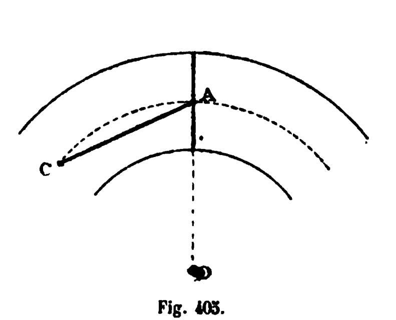


Fig. 405.

608 — Ces inexactitudes de la solution ont trouvé leur correctif dans une modification bien simple, mais très remarquable, apportée à la forme des jantes. Les roues ne sont plus des cylindres, mais des troncs de cône, dont les sommets sont extérieurs aux

cédente, reste inférieure à 0,0007. L'erreur absolue est de $0^m,000015$, et, par suite, absolument en dehors des quantités appréciables. La formule (1) peut donc être employée en toute sécurité.

rails (fig. 406), tandis que les mentonnets se trouvent placés en dedans [1].

Dans ces conditions, si un wagon passe trop vite, l'inclinaison transversale devenant insuffisante pour fournir la force centripète nécessaire, la trajectoire sera moins courbée que la voie. Les roues auront, par suite, une tendance à quitter les rails du côté de leur convexité. Les circonférences, actuellement égales, seront donc remplacées, pour la roue extérieure par un cercle plus grand, et pour la roue interne, par une section plus petite. De là une inclinaison supplémentaire de l'essieu, qui viendra s'ajouter à celle de la voie, pour lui fournir avec précision le complément nécessaire. En effet, cette influence ne cessera de s'accentuer, tant que le résultat ne sera pas obtenu avec exactitude, et, au delà, sauf quelques oscillations dues à l'inertie, il n'aura plus de motif pour continuer à s'accroître.

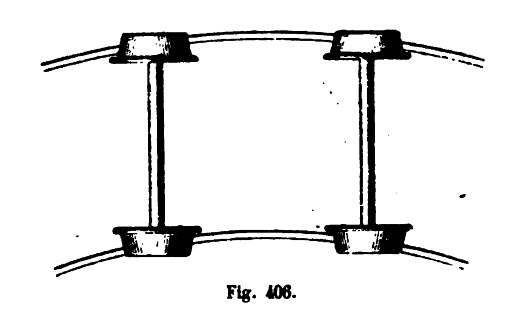


Fig. 406.

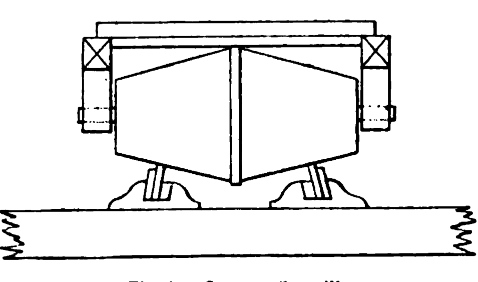
Si, au contraire, un chariot passe trop lentement, les phénomènes se produiront en sens inverse. L'excès de surélévation déterminera pour le véhicule une tendance à couler transversalement en dedans, de manière à effectuer le roulement par une circonférence externe moindre que la roue intérieure. De là, un abaissement de l'essieu au-dessous de l'inclinaison transversale de la voie, venant corriger ce que celle-ci a, dans ce cas, d'excessif.

609 — En exagérant le principe de la conicité des jantes, on arrive au système Serveille (fig. 407), qui a fonctionné aux abords des carrières de Meudon, avec des voies très tortueuses, de $0^m,30$ seulement de largeur.

Imaginons que les deux troncs de cône s'allongent vers l'intérieur,

[1] Indépendamment des jantes cylindriques et coniques, on a employé autrefois des roues à gorge, qui ont complètement disparu.

de manière à se rejoindre par une base commune, en ne formant plus alors qu'une roue unique. Le chariot portera sur deux semblables roues parallèles, et il pourra éprouver, sans dérailler, des basculements latéraux très accentués, dus à la vitesse, et à la raideur des courbes. D'un autre côté, ces masses, assez importantes, animées d'un mouvement rapide de gyration autour de leur axe principal central d'inertie, communiquent au plan de la rotation une certaine stabilité, qui vient atténuer d'autant l'importance des oscillations du véhicule.


Fig. 407. Système Serveille.

Ces aperçus ne manquent pas d'ingéniosité. Néanmoins ce système sortait trop des habitudes ordinaires pour qu'il fût appelé à se répandre.

610 — *Parallélisme des essieux.* — Pour que le parcours des roues, sur un élément de longueur infiniment petite, s'accomplisse convenablement, il faut supposer l'essieu normal à la voie, ce qui se réalise tout naturellement dans les portions rectilignes. Mais, dans les courbes, les normales deviennent convergentes, tandis que les essieux conservent, par leur adhérence à la caisse, leurs situations parallèles. Il en résulte deux sortes d'inconvénients.

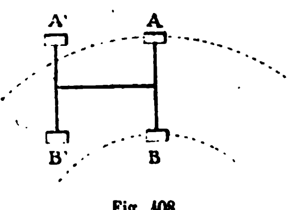


Fig. 408.

En premier lieu, si nous supposons l'essieu d'arrière normal à la courbe. le mentonnet de la roue externe du train antérieur aura tendance à sortir de la voie, et à user, d'après cela, par son frottement, le bord interne du rail extérieur, en détériorant, par réciprocité, sa propre surface. De là une usure du matériel, et, en même temps, une augmenta-

tion du travail des résistances. Un second défaut consiste en ce que les quatre roues ne peuvent plus se trouver à la fois sur les rails, comme l'indique la figure 408.

611 — A cette difficulté on a proposé trois remèdes différents. Le premier consiste à articuler les essieux, au moyen de chevilles ouvrières. Ce procédé, qui a été employé en Allemagne, peut être considéré comme abandonné, à cause de la complication qu'il apporte dans un matériel qui, en raison des conditions de son emploi, doit être, avant tout, simple et robuste.

Un second moyen consiste à rapprocher suffisamment les essieux. Il est clair, en effet, que l'inconvénient n'est dû qu'à la distance AA′, et qu'il disparaîtrait avec elle. On trouve encore, à ce rapprochement, l'avantage de disposer d'un plus grand bras de levier, pour tourner, à force de bras, les wagonnets sur les plaques de croisement. Cette tendance restera pourtant limitée par la condition de stabilité. On sera également restreint par le diamètre des roues, qui doit nécessairement rester moindre que l'intervalle des essieux.

Une dernière ressource consiste à donner aux jantes une largeur suffisante. La figure théorique 408 suppose, en effet, des roues sans épaisseur appréciable. Si, au contraire, on augmente progressivement, par la pensée, la largeur de la roue A′, on arrivera à lui faire rejoindre le rail dont elle se trouve écartée. On obtiendra ainsi la disposition de la figure 406, sur laquelle les essieux parallèles sont déviés l'un et l'autre de la normale, de manière à répartir sur tous les deux le défaut de convergence.

612 — *Glissement.* — Une dernière influence des courbes consiste en ce que, les deux rails devenant inégaux, les roues, qui doivent être forcément égales pour effectuer les parcours rectilignes, ne pourront plus (en les supposant, pour le moment, calées sur leur essieu) parcourir ces rails par roulement simple, en y appliquant un même nombre de fois leurs circonférences. Il s'ensuivra un certain glissement. On peut concevoir que celui-ci reste concentré en entier sur l'une quelconque des roues, tandis que l'autre roule exactement; mais il pourra également se répartir

d'une manière quelconque entre toutes les deux, en s'ajoutant pour l'une et se retranchant pour l'autre, par rapport à l'arc de roulement. Le résultat sera le même, dans tous les cas, au point de vue du travail négatif ainsi développé, qui aura pour valeur la somme des deux parties, si l'on suppose le chargement symétrique.

Il suffit donc d'évaluer ce travail pour le cas le plus simple, où l'une des roues seulement frotte sur le rail, en éprouvant, pour son propre compte, la totalité du glissement. Si λ désigne, pour cela, le développement de l'axe de la voie, λ', λ'' les longueurs des rails, on aura les proportions :

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{\rho + \frac{l}{2}}{\rho}, \qquad \frac{\lambda''}{\lambda} = \frac{\rho - \frac{l}{2}}{\rho},$$

en appelant l la largeur de voie. On tire de là :

$$\lambda' = \lambda \left(1 + \frac{l}{2\rho}\right), \qquad \lambda'' = \lambda \left(1 - \frac{l}{2\rho}\right),$$

et, par conséquent :

$$\lambda' - \lambda'' = \frac{\lambda l}{\rho}.$$

Telle est la valeur du glissement.

Comme nous admettons d'ailleurs que le poids total du véhicule se répartit également sur chaque roue, l'une des moitiés du tonnage qui passe dans la courbe en un temps quelconque, subira ce glissement, par l'intermédiaire de l'une des roues de chaque essieu; tandis que l'autre moitié, qui porte sur le rail par les roues animées d'un roulement simple, ne subira aucun travail négatif de frottement. Si donc P désigne le tonnage, ce frottement aura pour valeur $\frac{fP}{2}$ et, par suite, son travail :

$$\frac{fP\lambda l}{2\rho}.$$

Or $\frac{\lambda}{\rho}$ représente l'angle au centre de la courbe, $\frac{l}{2}$ le rayon du cercle inscrit entre les rails. La perte de travail est donc la même que si le tonnage *entier* glissait le long de la circonférence inscrite dans la voie, sur un arc homologue de celui de la courbe. De là un avantage évident pour les voies étroites.

613 — Supposons, par exemple, une déviation à angle droit, et une voie de $0^m,50$. Le quart de la circonférence inscrite sera d'environ $0^m,40$. Son produit par f (¹) a pour valeur $0^m,07$. Nous avons d'ailleurs admis, dans l'exemple numérique traité ci-dessus (n° 602), qu'à une tonne de poids utile, correspond un poids mort moitié moindre, soit en tout 1500 kilogrammes. Le travail perdu sera dès lors :

$$0^m,07 \times 1500^{kg} = 105^{kgm}.$$

Il représente, comme on voit, la puissance nécessaire pour élever de 10 centimètres environ le poids utile, ce qui est loin d'être négligeable.

Supposons un wagonnet chargé de 400 kilogrammes de houille. Le travail perdu sera de $0,4 \times 105$ kgm., c'est-à-dire 42 kgm. Si la courbe présente 4 mètres de rayon, le quart de cercle aura pour longueur 2π, ou $6^m,28$. En admettant une vitesse de $1^m,20$ par seconde, il faudrait environ 5 secondes pour franchir ce coude, et un développement de 8 kilogrammètres par seconde, ce qui est le maximum que l'on puisse demander à la force de l'homme.

On comprend par là que cet effet mérite d'entrer en ligne de compte, et qu'il y a lieu de chercher à l'empêcher de se produire.

614 — M. Laignel avait proposé, à cet égard, un moyen ingénieux. Il consistait à supprimer le rail extérieur dans les courbes, et à le remplacer par une plate-forme circulaire, sur laquelle le roulement s'effectuerait par la circonférence du mentonnet de la roue extérieure, et non plus par sa jante. Il suffit évidemment de

(¹) On peut admettre la valeur $f = 0,18$ pour les métaux frottant à sec (Poncelet, *Introduction à la Mécanique industrielle*, p. 486).

proportionner la saillie de ce mentonnet au rayon de la courbe, pour que celle-ci soit ainsi parcourue en roulement simple par les deux roues, devenues inégales.

Si R marque le rayon de la roue et *m* l'épaisseur du mentonnet, on devra pour cela établir la proportion :

$$\frac{\rho + \frac{l}{2}}{\rho - \frac{l}{2}} = \frac{R + m}{R},$$

d'où l'on déduit :

$$m = \frac{lR}{\rho - \frac{l}{2}}.$$

Reprenons les valeurs des exemples précédents (nos 603, 613) :

$$l = 0^{m},50 \qquad \rho = 4^{m},00 \qquad R = 0^{m},15.$$

Elles nous donneront :

$$m = 0^{m},02$$

ce qui n'a en soi rien d'irréalisable. Cependant l'assujettissement d'imposer à tout le réseau des galeries un rayon uniforme pour ses courbes, et la difficulté de guider le chariot dans les coudes, ont fait proscrire le système Laignel.

615 — Il devient d'ailleurs inutile de chercher une solution spéciale de cette difficulté, car on en trouve une dans la conicité des jantes.

En effet, l'inconvénient en question naît de l'égalité des roues, supposées implicitement cylindriques. Mais, sur les jantes coniques, on peut trouver diverses circonférences, et il suffit, dès lors, de les faire intervenir à propos. Or, c'est ce qui aura lieu spontanément. En effet, le train de roues, en abandonnant la travée rectiligne.

aborde la courbe avec deux cercles égaux. En vertu de l'inertie, il a tendance à marcher en ligne droite, en quittant la voie du côté de sa convexité. La roue externe engage par là ses plus grandes circonférences, et la roue intérieure les plus petites. On arrive ainsi à la disproportion nécessaire pour le roulement simple; et, une fois ce résultat obtenu, le système s'y tiendra de lui-même, car, en dépassant le but, ou en restant en deçà, il lui faudrait vaincre un frottement de glissement plus considérable que la résistance au roulement, et qui exigerait un supplémentde force. Or, c'est la moindre résistance qui sera surmontée la première, dans l'accroissement progressif de la traction.

616 — Il reste enfin, pour le matériel de mines, une solution radicale de la difficulté, que l'on ne saurait employer avec celui des chemins de fer à grande vitesse. C'est l'indépendance des roues, rendues folles sur l'essieu. Chacune d'elles, formant alors un solide isolé, roule pour son propre compte, et l'inconvénient disparaît. Mais l'appréciation de cette combinaison, qui a besoin d'être examinée de près, nous amène à l'étude du matériel roulant.

CHAPITRE XXVII

MATÉRIEL ROULANT

—

§ 1

INDÉPENDANCE DES ROUES

617 — Outre son utilité de supprimer le glissement dans les courbes, l'indépendance des roues présente celle de faciliter sensiblement le passage du véhicule, à travers toutes les irrégularités accidentelles que présente une voie, beaucoup plus difficile à maintenir dans un état rigoureux de précision, que celle des chemins de fer à grande section de la surface. Mais ces avantages se payent par divers inconvénients.

Le premier est un défaut de stabilité. Reprenons, pour nous en rendre compte, l'équation des moments (n° 595, éq. 9), en y négligeant, pour simplifier, le poids de la roue devant celui de la charge :

$$(1) \qquad T_1 = \left(\frac{fr}{R} + a\right) P_1.$$

Si nous l'écrivons de même pour la roue conjuguée (fig. 402), supposée indépendante de la première :

$$(2) \qquad T_2 = \left(\frac{fr}{R} + a\right) P_2,$$

il viendra, en divisant membre à membre :

$$(3) \qquad \frac{T_1}{T_3} = \frac{P_1}{P_3}.$$

Or, le quotient des forces parallèles T_1 et T_3 représente le rapport inverse des bras de levier déterminés par le point d'application de leur résultante, qui doit équilibrer directement la force de traction, c'est-à-dire par le crochet d'attelage. D'autre part, celui de P_1 et P_3 fournit le rapport inverse des segments marqués sur l'essieu par la projection du centre de gravité, dont la situation dépend essentiellement du mode de chargement. Ce point sera donc variable par rapport au véhicule, tandis que le premier est essentiellement fixe. On doit s'attendre, par suite, à des défauts fréquents de coïncidence. La conclusion à en déduire est que, l'équation (3) n'étant plus alors satisfaite, la translation uniforme qu'elle suppose (n° 595) deviendra impossible. Il se superposera donc, à ce mouvement principal, des modifications perturbatrices, qui portent le nom de mouvement de *lacet*, et qui produisent un balancement fâcheux du chariot.

Cet inconvénient n'existe pas avec le système des roues calées, solidaires avec l'essieu. En effet, l'on n'est plus alors autorisé à poser séparément les équations (1) et (2), puisque les roues ne forment pas, dans ce cas, deux solides distincts ([1]).

618 — Il faut signaler encore un second inconvénient des roues

([1]) La théorie des pentes reposait cependant, en apparence, sur l'ensemble des quatre équations semblables, que nous avons ajoutées membre à membre (n° 595, éq. 10). Mais elle n'est pas, pour cela, infirmée ; en effet, lorsque les roues sont calées, l'équation des moments s'écrit directement pour l'ensemble du système tournant que deux d'entre elles forment avec leur essieu, ce qui donne alors :

$$T_1 + T_3 = \frac{fr}{R}(P_1 + P_3) + a(P_1 + P_3 + \varpi'),$$

si ϖ' désigne le poids total qui participe à la rotation. On a, de même, pour le second essieu :

$$T_2 + T_4 = \frac{fr}{R}(P_2 + P_4) + a(P_2 + P_4 + \varpi''),$$

et, en ajoutant ces deux relations, l'on retrouve la formule (10).

folles, ou, si l'on veut, un avantage du système des roues calées. En effet, leur solidarité avec l'essieu, qui se trouve lui-même en relation directe avec la caisse, en deux points aussi éloignés que possible, rend l'ensemble plus apte à supporter les chocs nombreux et violents auxquels il est impossible de soustraire le matériel de mines.

Pour ces motifs opposés, la solution devient, à peu près, une question d'appréciation, variable d'après les préférences des ingénieurs ; et les deux systèmes figurent à la fois dans l'exploitation souterraine ([1]).

619 — On a, en outre, cherché à concilier, autant que possible, les avantages des deux hypothèses, au moyen de combinaisons ingénieuses, mais trop complexes pour être appelées à se répandre, dans des conditions où l'on doit, avant tout, rechercher la simplicité.

Dans le système des roues *mi-fixes* de Beaumier et Marsais ([2]), une seule roue est calée sur l'essieu, la seconde reste folle. De cette manière, l'indépendance est complète au point de vue du glissement, et l'on retrouve, mais seulement en partie, la stabilité, due à la mise en rapport de la roue avec toute la largeur de la caisse, en raison de sa solidarité avec l'essieu.

Avec une autre disposition, l'on réalise, à la fois, non plus partiellement, mais d'une manière complète, les deux avantages; seulement c'est au prix d'une assez grande complication ([3]). On emploie alors quatre essieux. Chacun d'eux ne porte qu'une seule roue, et il est solidaire avec elle. Les essieux de chaque paire étant presque contigus, les roues restent à peu près en face l'une de l'autre, dans la construction du véhicule.

([1]) Au contraire, l'hésitation ne saurait exister pour les chemins de fer à vapeur, qui n'emploient jamais que les roues calées; les deux roues et leur axe formant ce qu'on appelle un *essieu monté*. La question de la stabilité prend alors, en effet, au point de vue des conséquences du déraillement pour les grandes vitesses et le transport des voyageurs, une importance qui efface absolument les autres considérations.

([2]) Ce dispositif avait été adopté par la Compagnie d'Orléans, dans ses mines de fer de Mondalazac.

([3]) Ce type a figuré un instant dans quelques mines du bassin de la Loire.

§ 2

ROUES

620 — La roue est venue de fonte d'un seul morceau, ou avec des rayons en fer noyés dans la coulée de fonte. Il est bon de mouler en coquille, pour déterminer un durcissement de la surface.

On fait également des roues pleines, en tôle de fer plate, ou ondulée, afin d'offrir plus de raideur. Un trou y est ménagé pour passer la broche qui sert à embarrer. L'avantage de ce système est de diminuer le brassage de l'air, et le tourbillonnement des poussières qui ont pour effet d'encrasser la boîte à graisse.

On substitue aussi, à la fonte et au fer, l'acier, plus résistant sous le même poids, ce qui permet d'alléger le matériel. Ce métal est plus cher, mais plus durable, à la condition, toutefois, que la roue soit établie sur des dimensions suffisantes; prescription dont l'oubli a occasionné, à l'origine, quelques mécomptes.

621 — Le rayon de la roue ne doit pas excéder des limites assez étroites. Trop petit, il place la traction dans des conditions désavantageuses, puisque l'expression de cette force (n° 596, éq. 13) renferme R en dénominateur. La boîte à huile se trouve alors trop rapprochée de la poussière et de la boue. En abaissant ainsi le châssis et le crochet d'attelage, on donne aux traits du cheval une inclinaison sensible, et, comme conséquence, à la traction, une composante qui tend à soulever l'avant du véhicule, à dégager les mentonnets et à faciliter le déraillement.

Si, inversement, le rayon est trop grand, on alourdit la roue, en augmentant le poids mort. Le niveau du chargement se trouve exhaussé [1]. Il n'est plus alors possible de placer la roue sous la caisse, comme on le fait dans certains types, afin d'élargir le wagon sans exagérer l'intervalle des rails.

[1] On y remédie, pour certaines méthodes, en coupant, dans le mur, la voie des wagonnets, pour qu'ils accostent à un niveau un peu inférieur la plate-forme du chargement.

On a cherché à concilier ces divers points de vue par l'emploi de l'essieu coudé. Le diamètre peut alors augmenter, sans que la caisse cesse d'être basse. Elle peut, en même temps, s'élargir en débordant par-dessus les roues, ce qui a encore l'avantage de préserver ces dernières des chocs. Il est inutile de faire observer, que l'on s'impose par là l'obligation d'employer des roues folles sur l'essieu.

La fusée doit être aussi mince que possible, car son rayon figure au numérateur de l'expression de la force de traction (n° 596, éq. 13). Cependant, la question de la solidité doit primer cette considération. L'emploi de l'acier se recommande, à cet égard, comme tendant à concilier ces deux exigences opposées.

Il est bon de disposer au-dessus de la roue (¹) un petit toit protecteur en tôle, pour empêcher la chute du charbon et des poussiers d'empâter les huiles.

622 — Le graissage exerce, en effet, une influence essentielle, puisque le coefficient de frottement f figure dans l'expression de la force de traction. Il est bon d'y intéresser l'ouvrier. Le rouleur soignera mieux le wagonnet qui lui sera spécialement affecté, que ne le fera un graisseur chargé, d'une manière générale, de cette opération. Parfois on graisse au pinceau, ou en versant une goutte d'huile à travers un petit trou ménagé à cet effet. Mais il est préférable d'employer des systèmes de graissage permanent, à l'aide de boites à huile spéciales.

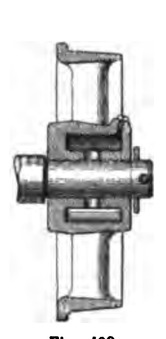


Fig. 409.
Boite à huile.
Roues folles.
Système Fayol.

On en a proposé bien des types (²). L'un des plus simples consiste en une calotte sphérique, boulonnée sur le châssis, et dans laquelle débouche la tête de la fusée. Un orifice, fermé par une vis, sert à introduire, tous les quinze jours, un mélange, d'une consistance pâteuse, qui ne se perd pas à travers le joint (³).

(¹) Comme à Bességes.

(²) Systèmes Baimbridge, Cabany, Chalmeton (*Bull. min.*, 1ʳᵉ, V, 39), Fontaine, Evrard (*Annales*, 6ᵉ, II, 321), Godin, Lambert (*CRM*, juillet 1879, 7).

(³) Marsaut (*Bull. min.* XIII, 435). — Veillon (*CRM*, juin 1876, 18).

Dans les systèmes inversables de M. Paul Fayol ([1]) pour les roues folles (fig. 409), et de M. Grand ([2]) pour les roues calées (fig. 410, 411), la boite présente la forme d'une double bouteille aplatie, dont les deux parties seraient soudées par le goulot. Elle fait corps avec la roue, dans le premier type. Elle en est indépendante, dans le

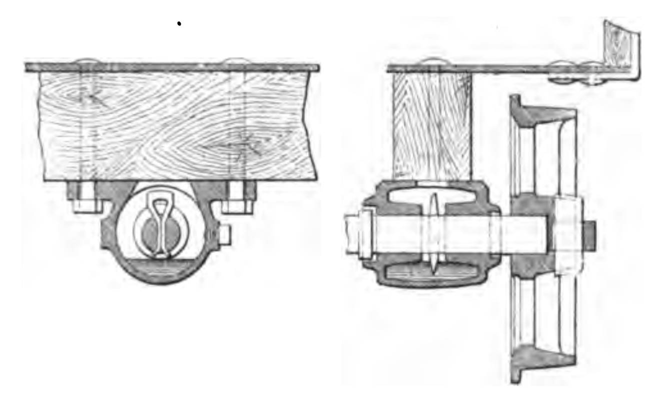


Fig. 410 et 411. Boîte à huile. Roues calées. Système Grand (coupes transversale et longitudinale).

second, et se fixe alors sous le châssis. L'alimentation s'effectue tous les quinze jours, et le nettoyage tous les ans. La fourniture annuelle s'abaisse, dans ces conditions très favorables, à 4 kg. 30, soit, par jour ([3]), 14 gr. 40 par wagonnet.

§ 3

ENSEMBLE DU VÉHICULE

623 — Les chariots de mine portent, suivant les localités et leur mode de construction, les noms de *wagon* (fig. 412, 413, 414), *wagonnets* (fig. 415, 416), *berlines* ou *berlaines* (fig. 417, 418), *bennes à roulettes* ou *bennes roulantes* (fig. 419, 420). Ces véhicules peuvent être établis d'après trois types essentiels.

([1]) *CRM*, janvier, 1877, 31.
([2]) *Bull. min.*, 2e, VII, 375.
([3]) En supposant 300 jours de travail.

Pour le premier, qui tend à disparaître, quoique son application

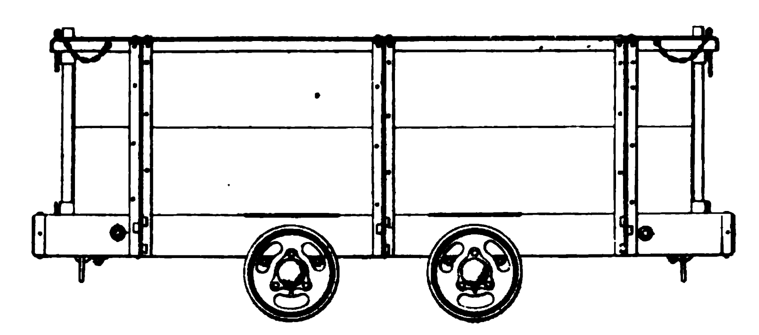


Fig. 412 Wagon de Bessèges (élévation latérale).

puisse se justifier dans certains cas, on emploie deux sortes de

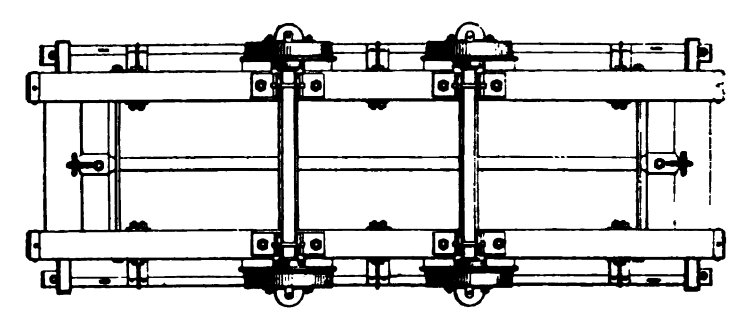


Fig. 413. Wagon de Bessèges (plan horizontal).

matériel. L'une, formée de petits wagonnets conduits à bras, du chantier à la mère-galerie, où ils sont embarqués sur de grands véhicules nommés *plates-formes*, *chariots-porteurs*, *trucs*, *chars à bennes* (fig. 421). On assemble ces derniers en *trains*, *rames* ou *convois*, tirés par des chevaux, que mènent des *conducteurs*, appelés aussi *kercheurs* ou *suiveurs de rames*. Ce système présente l'inconvénient d'augmenter énormément le poids mort. Il ne peut trouver sa jus-

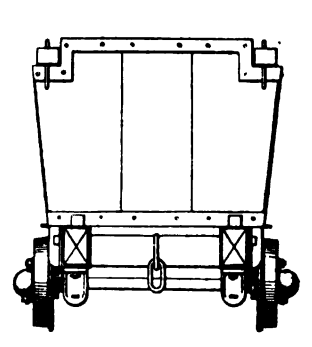


Fig. 414. Wagon de Bessèges (élévation antérieure).

tification que dans le motif d'économiser l'abatage, en employant

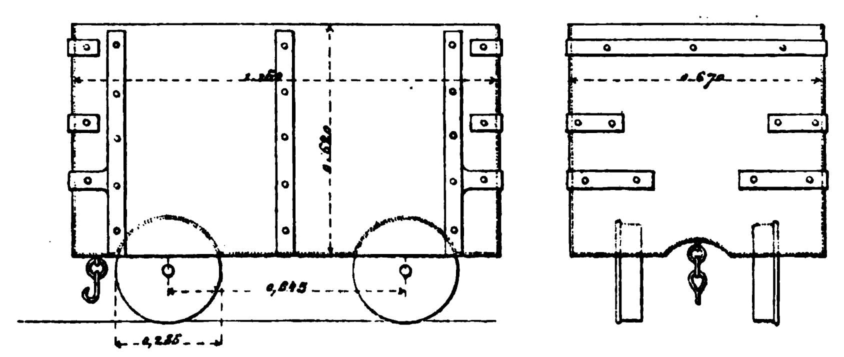


Fig. 415 et 416. Wagonnet en bois, (houillères de Béthune), (élévations latérale et antérieure).

des tailles basses, où circulera un petit matériel, et coupant ensuite

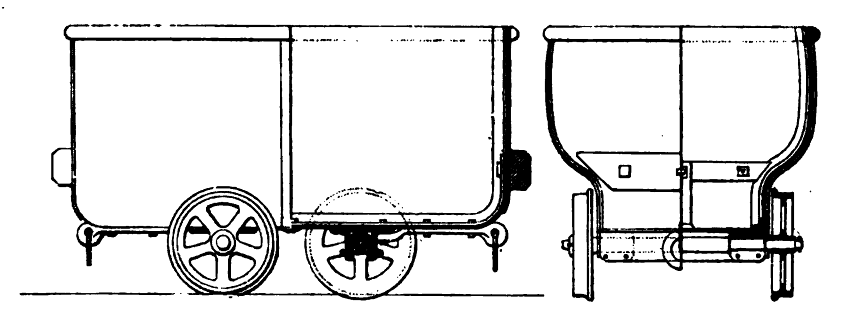


Fig. 417 et 418. Berline en tôle (houillères d'Anzin), (élévations latérale et antérieure).

le mur, pour établir des galeries-maîtresses, où les chars à bennes

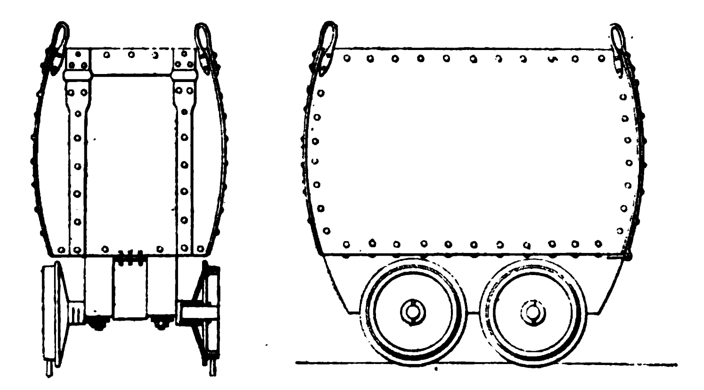


Fig. 419 et 420. Benne à roulettes (élévations antérieure et latérale).

viennent affleurer à peu près au niveau des gares d'embarquement des wagonnets [1].



Fig. 421. Char à bennes.

624 — Dans le second système, il n'y a plus qu'un seul type de matériel roulant; mais les wagonnets ne quittent pas l'intérieur;

[1] Ce système est poussé à l'extrême dans les mines de schistes cuivreux du Mansfeld (n° 466, note). On y emploie de petits chariots de 0m,20 de hauteur. Le rouleur, de 14 à 18 ans, attache sous sa cuisse gauche (fig. 422) une planchette de bois, armée, à sa partie antérieure, de deux petits pieds en fer. Pour protéger l'avant-bras, il saisit de



Fig. 422. Chariot du Mansfeld.

sa main gauche une planchette analogue, munie d'une poignée, et rampe sur le côté gauche. A son pied droit est attaché, avec une courroie de cuir, le chariot, qu'il remorque ainsi jusqu'à la galerie des chevaux.

Je rapprocherai de ce petit véhicule, un moyen employé dans les tailles basses de Mazenay, pour circuler rapidement et sans fatigue. Une plate-forme carrée, de 0m,50 de côté, est montée sur de petites roulettes, et circule sur la voie ferrée. Le mineur s'y assied sur la cuisse gauche, en repliant le genou, et y déposant sa lampe qu'il maintient de la main gauche. Il se pousse alors avec le pied droit, en obtenant très facilement des vitesses, qui ne sont tempérées que par la prudence. Si l'on se trouve trop lancé, on amortit la rapidité de la marche, en labourant la voie avec la pointe du pied droit qui agit comme un frein. A la rencontre d'un train, on relève contre la paroi de la galerie ce petit chariot, qui est très léger.

On emploie de même, dans les mines de Gréasque, sous le nom de *courriau*, une petite plate-forme très basse, destinée à faciliter le transport des paniers.

ils déversent, à l'accrochage, leur contenu dans le cuffat, qui l'élève au jour. On peut reprocher à cette combinaison un transbordement inutile, qui exige une certaine main-d'œuvre, et augmente la proportion de menu ([1]). En outre, les charbons de toutes provenances se trouvent par là confondus dans la benne. C'est donc au fond, qu'il faut visiter le contenu des wagonnets, pour surveiller les piqueurs dont ils portent la marque, et cette appréciation sera évidemment moins facile et moins exacte que lorsqu'elle s'effectue à la lumière du jour.

Pour tous ces motifs, cette combinaison a progressivement disparu, bien que l'on en rencontre encore quelques exemples. Toutefois, la question a été soulevée de nouveau, et M. Alayrac tend à admettre ([2]) qu'au-dessous d'une profondeur d'environ 300 mètres, cette organisation peut devenir économique. En outre, il est des charbonnages, tels que ceux de la Sarthe et de la Mayenne, dans lesquels, d'après la nature du combustible, la production du menu est, en quelque sorte, favorisée plutôt que redoutée. Ce principe s'y rencontre donc encore, ainsi que dans quelques mines de Westphalie ([3]).

625 — Le troisième système représente aujourd'hui la presque totalité des applications. Le wagonnet, après avoir circulé dans les travaux, est enlevé au jour au moyen de cages guidées, avec son contenu. Il redescend ensuite à vide, pour équilibrer le poids mort, pendant l'ascension d'un nouveau chariot plein. Les mouvements de ce poids mort n'exigent donc aucune dépense de travail, si ce n'est en raison des résistances passives dont ils deviennent l'occasion. Mais ce poids figure dans la fatigue statique du câble et des molettes.

Un autre inconvénient est l'obligation d'employer un matériel de dimensions restreintes, afin qu'il puisse se loger dans les cages, sans augmenter déraisonnablement leurs dimensions, et, par suite, celles des puits. Mais, en revanche, cette réduction du chariot le rend apte à pénétrer dans des tailles plus exiguës, et à permettre l'emploi

([1]) De 4 pour 100, d'après M. Guary (*Bull. min.*, 1re, IV).
([2]) *Bull. min.*, 2e, I, 265. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXIV, 218.
([3]) *Bull. min.*, 2e, IV, 549.

des jeunes gens comme rouleurs. On y trouve aussi plus de facilités, pour remettre le chariot sur la voie en cas de déraillement.

626 — Les wagons se font, soit en bois, soit en tôle de 2 à 4 millimètres. Celle-ci est plus chère que le bois, et ses réparations sont plus difficiles. Elle est plus lourde, se rouille, se corrode par les acides. Mais, en revanche, elle est plus durable, et se prête aux formes courbes.

Le volume reste compris entre 3 et 10 hectolitres [1]; cependant, les *trams* du South-Wales contiennent jusqu'à 1750 kilogrammes. Quand on veut augmenter la contenance, il vaut mieux développer le véhicule en longueur. On conserve ainsi aux galeries leur petite section, et les hommes disposent d'un plus grand bras de levier, pour tourner le wagon sur les plaques.

La forme parallélépipédique est plus avantageuse, sous le rapport de la capacité, que celle d'un cylindre vertical à base elliptique, qui est également en usage. En effet, à égalité d'encombrement, les volumes seront dans la proportion de l'aire de l'ellipse au rectangle de ses axes, rapport qui a pour valeur $\frac{\pi}{4}$ ou 0,78. Les bennes elliptiques présentent, par compensation, une plus grande solidité que les caisses rectangulaires, malgré les ferrures destinées à consolider les angles dièdres de ces dernières.

627 — Les principales dimensions du chariot varient, en général, entre les limites suivantes, exprimées en mètres :

DIMENSIONS.		MINIMUM.	MAXIMUM.
Jeu de la roue entre les rails	rectilignes	0,010	0,015
	courbes	0,020	0,030
Saillie du mentonnet		0,020	0,025
Largeur de la jante		0,050	0,060
Diamètre de la roue		0,200	0,400
Diamètre de la fusée		0,030	0,040
Écartement des essieux		0,400	0,600

[1] On admet généralement que l'hectolitre de houille pèse de 80 à 85 kilogrammes, suivant la nature du charbon et la proportion de gros et de menu.

On trouvera d'ailleurs des éléments nombreux de comparaison dans le tableau de la page 704 [1]. Les lettres B et T y servent à distinguer les wagons en bois ou en tôle ; les lettres C et F : les roues calées ou folles sur l'essieu; les lettres G et H : l'emploi de la graisse ou de l'huile.

La moyenne de ces 22 exemples indique 216 kilogrammes pour le poids du wagon vide, 472 kilogrammes pour celui du chargement ; 0,4959 pour le rapport du poids mort au poids utile, ou, plus simplement, la moitié ; ce qui représente le tiers, pour le rapport du poids mort au poids total (n° 602). Cependant, si l'on envisage à part le groupe des six exemples relatifs à des mines françaises, ces moyennes deviennent 265 et 578 kilogrammes, et leur rapport 0,4577, résultat plus satisfaisant.

628 — Le prix du véhicule varie dans des limites très étendues, d'après le système employé. Certaines moyennes permettent cependant d'indiquer, comme première approximation, pour chaque kilogramme entrant dans la construction : 0 fr. 60 pour le métal, et 0 fr. 55 pour le bois.

Je citerai, comme exemple détaillé, le devis suivant (page 705) d'un wagonnet des houillères de Carmaux [2], dont le prix coûtant ressort à 95 francs environ.

[1] Dressé à l'aide des intéressants documents rassemblés par M. Pernolet pour l'*Agenda-Dunod des mines*, 1882, 92.

[2] Renseignement dû, en 1877, à l'obligeance de feu Sevin, alors directeur de ces mines.

TABLEAU

DÉSIGNATION		VÉHICULE		POIDS		DIMENSIONS			ÉCARTEMENT DES ESSIEUX	ROUES		
MINES	BASSINS	FORME	MATIÈRE	UTILE	MORT	HAUTEUR	LARGEUR	LONGUEUR		DIAMÈTRE	CALAGE	GRAISSAGE
				kilogr.	kilogr.	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres		
Normamby	Yorkshire	rectangulaire	B T	1 370	507	1,060	0,920	1,440	0,445	0,350	C	G
Blanzy	Saône-et-Loire	circulaire	B	960	400	1,180	1,425	1,425	0,900	0,260	F	G
Bessèges	Gard	trapézoïdale	B	930	400	1,000	0,970	2,500	0,650	0,310	F	H
Reden	Sarrebrück	rectangulaire	B	500	250	0,950	0,900	1,500	0,500	0,250	C	G
Wearmouth.	Newcastle	trapézoïdale	B	465	252	1,200	0,835	1,085	0,470	0,360	C	G
Montrambert	Loire	elliptique	T	440	150	0,940	0,970	1,200	0,500	0,215	F	H
Sulzbach	Sarrebrück	trapézoïdale	B	440	250	1,040	0,750	1,570	0,450	0,400	C	G
Verein-President. . .	Westphalie	berline	B T	440	275	0,850	0,500	1,730	0,500	0,380	F	H
Gosson	Liège	Id.	T	440	280	1,050	0,700	1,150	0,450	0,300	C	H
Levant-du-Flenu. . .	Mons	Id.	T	420	212	»	»	»	0,550	0,215	F	H
Brynn-Hall	Wigan	rectangulaire	B	406	102	0,790	0,850	1,200	0,360	0,240	C	G
Marihaye	Liège	berline	T	400	230	0,900	0,670	1,300	0,550	0,260	C	H
Anna.	Westphalie	Id.	B T	400	250	0,870	0,690	1,600	0,435	0,275	C	H
Anzin.	Nord	Id.	T	387	220	0,755	0,778	1,400	0,400	0,280	C	G
Commentry	Allier	rectangulaire	B T	384	269	0,980	0,820	1,050	0,360	0,275	F	H
Lens	Pas-de-Calais	trapézoïdale	B	368	150	0,860	0,650	1,300	0,650	0,250	C	G
Clifton-Hall	Manchester	rectangulaire	B	355	152	0,870	0,880	1,050	0,475	0,240	C	G
California.	Wigan	Id.	B	305	150	0,760	0,950	1,280	0,430	0,245	C	G
Nord de Charleroi . .	Charleroi	berline	T	280	130	0,780	0,670	1,150	0,400	0,200	F	H
Produits	Mons	trapézoïdale	B	280	220	0,750	0,670	1,250	0,500	0,215	C	H
Elswick.	Newcastle	rectangulaire	T	275	180	0,605	0,850	1,160	0,370	0,200	C	G
Townley	Burnley	Id.	T	152	127	0,510	0,805	0,074	0,387	0,228	F	H

NATURE DES OBJETS	QUANTITÉS EMPLOYÉES		PRIX EN FRANCS			
	UNITÉS	NOMBRE	DE L'UNITÉ	DE LA FOURNITURE	DE LA MAIN-D'ŒUVRE	TOTAL
Planches en chêne de 0m,03. .	Mèt. carr.	3,000	2,5000	7,50		
Madriers — de 0m,04. .	Mètres	0,350	4,0000	1,40		
— — de 0m,10. .	Id.	0,300	9,0000	2,70		
Pointes de 19/70	Kilogr.	0,500	0,4000	0,20		
Caisse	. . .	. . .	. . .	*11,80*	4,75	16,55
Tôle de fond de wagon . . .	Kilogr.	25,550	0,2815	7,20		
Rivets.	—	4	0,0520	0,20		
Platine fer vieux	Kilogr.	2,000	0,1500	0,30		
Fer plat 50/10	Id.	6,000	0,3700	2,22		
Fer rond de 0m,018 et 0m,016.	Id.	3,725	0,4107	1,43		
Plaques de fond . . .	. . .	. . .	. . .	*11,35*	2,95	14,30
Ferrure (55/5 et 45/5) .	Kilogr.	17,433	0,3215	*5,60*	0,50	6,10
Tôles d'angle (4 tôles).	Id.	12,000	0,6000	*8,30*	0,20	8,50
Fer rond de 0m,040.	Id.	14,000	0,3200	4,48		
Fer carré de 0m,018.	Id.	2,000	0,3100	0,62		
4 roues de fonte	Id.	50,400	0,2615	13,15		
Fer plat 20/5.	Id.	0,450	0,3800	0,20		
Fer rond de 0m,012.	Id.	0,320	0,3215	0,10		
Essieux.	. . .	. . .	. . .	*18,55*	4,85	23,40
4 boîtes à huile en fonte. . .	Kilogr.	28,600	0,3600	10,30		
4 vis taraudées 15/26. . . .	—	4	0,1500	0,60		
Boulons 12/150.	—	3	0,1500	1,20		
Antifriction	Kilogr.	1,400	1,1500	1,62		
Huile	Id.	0,500	1,0500	0,43		
Boîtes à huile	. . .	. . .	. . .	*14,15*	1,50	15,65
Rivets divers.	—	42	0,0595	2,50		
Rondelles	—	13	0,0100	0,13		
Boulons	—	40	0,1317	5,27		
Joints en cuir	—	8	0,0500	0,40		
Montage	. . .	. . .	. . .	*8,30*	2,50	10,80
PRIX TOTAL . . .	. . .	. . .	. . .	**78,05**	**17,25**	**95,30**

Le nombre de véhicules que doit posséder une exploitation dépend à la fois du tonnage et des distances à parcourir. Il est né-

cessaire de l'établir avec une grande largeur, pour tenir compte des réparations, ou des mauvaises répartitions, afin que les chantiers ne manquent jamais de chariots pour écouler leurs produits.

§ 4

LOCOMOTIVES SOUTERRAINES

629 — La voie ferrée, qui a pris naissance dans les mines, a reçu au dehors une immense expansion. Au contraire, la locomotive, dont l'invention et les perfectionnements se sont effectués au jour, donne lieu à de très grandes difficultés, pour l'accommoder au service de l'intérieur. Cette idée, si naturelle, s'est pourtant présentée de bonne heure [1], et malgré de nombreux échecs, elle reparaît périodiquement. Elle semble entrée aujourd'hui dans une ère plus favorable.

Ce fonctionnement est installé, dans de très bonnes conditions, aux houillères de Cessous et Trebiau (fig. 232) [2]. Il existe également une traction par locomotives à la mine de fer de Mazenay [3]. Dans les grandes exploitations de Laxey (île de Man), on emploie aussi ce genre de moteurs [4], ainsi que dans les charbonnages de Doman [5] et de Sieczen (Banat) [6]. On le rencontre, de même, aux mines de pyrite de Rio-Tinto, et dans les bassins anthraxifères de Pensylvanie.

[1] *Bull. min.*, 2e, VII, 604; IX, 129; X, 397. — Ledoux, *Annales*, 7e, V, 391, 457, 468. — *CRM*, octobre 1879, 248; 1881, 118; 1882, 35. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 332. — *Journal des Mines*, 1878, 275. — C. Heinrich, Emploi des locomotives souterraines (*Zeitschrift für Kärnthen*, IX, 238).

[2] Bessard, *Bull. min.*, 2e, X, 397.

[3] *CRM*, 1879, 248.

[4] La voie présente une largeur de 0m,46, avec des courbes de 3 mètres de rayon. Les roues ont 0m,375 de diamètre, les cylindres 0m,10 de diamètre et 0m,15 de course. Les locomotives travaillent à 10 kilogrammes, et traînent 12 à 13 tonnes, avec une vitesse de 9 à 10 kilomètres.

[5] Chaque locomotive traîne 30 wagons, ou 22 tonnes, à raison de 7 kilomètres. Le poids de la machine chargée est de 4,5 tonnes, la surface de chauffe 8mq,5, la force totale 10 chevaux, la pression 10 kilogrammes. Les cylindres ont 0m,15 de diamètre et 0m,21 de course. Le maître-couple n'est que de 1mq,7.

[6] Holtzer, *Bull. min.*, 2e, IX, 139.

Les locomotives de mines sont souvent exposées à patiner, en raison de la grande légèreté qu'on s'attache à leur donner, pour qu'elles puissent circuler dans des galeries relativement étroites, et ne pas fatiguer d'aussi faibles voies. L'état des rails y contribue, de son côté, par la condensation de la vapeur, qui les graisse en y fixant des matières fuligineuses. Les boîtes à sable, destinées à remédier à cet inconvénient, usent rapidement les bandages. Mais on a indiqué un moyen plus simple d'augmenter l'adhérence, en dirigeant sur le rail, au-devant de la roue, un jet de vapeur chaude (1).

630 — Le principal obstacle que rencontre l'emploi de ces moteurs est la production de fumée et d'oxyde de carbone, qui seront envoyés dans les travaux, si la ventilation entre par la galerie des locomotives, tandis que, si elle marche en sens inverse, elle amènera l'air grisouteux des tailles sur les foyers ambulants. On a essayé, à Hayange, de laver la fumée dans une bâche à eau, pour fixer les matières fuligineuses ; mais ce procédé reste impuissant vis-à-vis de l'oxyde de carbone.

Il semble que l'on puisse trouver des ressources, sous ce rapport, dans l'emploi des *machines sans foyer*, que l'on appelle également *machines à eau chaude* et *machines à provision de vapeur* (2).

Mais une solution plus nette encore, pour les mines munies de compresseurs, consiste dans les *locomotives à air comprimé*. Le fluide que répand alors la machine le long des galeries, au lieu d'être délétère, n'y exerce qu'une action bienfaisante. De grandes locomotives de ce genre ont fonctionné pendant le percement du Saint-Gothard, dont la ventilation était difficile (3). On en voit de plus

(1) *Génie civil*, III, 516.

(2) Locomotive sans feu (Lavoinne, *Annales des ponts et chaussées*, 5e, XVI, 261). — Locomotive sans feu (Stapfer, *Bulletin de l'Association scientifique de France*, n° 433, pages 308, 332). — Locomotive sans foyer (Francq, *Compte rendu de l'Association française pour l'avancement des sciences*, 1878. — Collignon, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 9. — *Génie civil*, III, 148. — Locomotive à eau chaude (Francq, *Les mondes*, XLVIII, 448). — Locomotive à vapeur emmagasinée (*CRM*, juillet 1876, 5). — Flourens, *Étude sur la traction mécanique des tramways*. Lille, 1876.

(3) *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III, 23. — Revaux, *Annales*, 7e, XV, 416.

petites aux mines de Graissessac, établies d'après le procédé Mékarski (fig. 423, 424), avec la bouillotte caractéristique de ce système ([1]). Il existe également des locomotives à air comprimé dans les houillères de Pensher (Durham) ([2]).

Je citerai encore, dans cet ordre d'idées, les *locomotives électriques* des mines royales de Zankerode (Prusse), allégées de toute la pesanteur de l'eau et du combustible, présentant, d'après cela, un poids plus constant, et ne donnant ni fumée, ni vapeur, ni escarbilles ([3]).

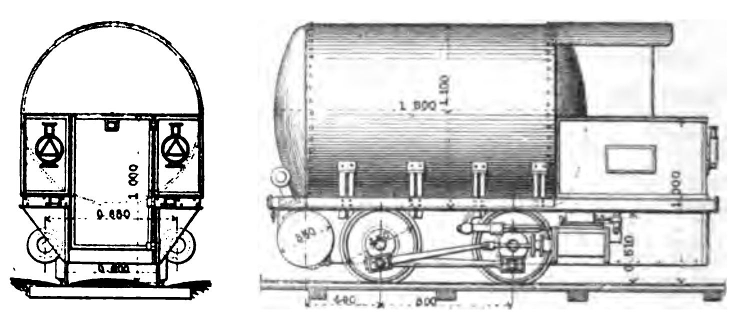


Fig. 423 et 424. Locomotive à air comprimé, système Mékarski (élévations antérieure et latérale).

631 — Il convient également de mentionner, à cette place, les *locomotives routières* ([4]), qui ont été utilisées, dans de rares

([1]) La voie a 0m,60; la locomotive : 1m,10 de largeur, sur 1m,55 de hauteur. Le réservoir cube 1300 litres, et renferme 56 kilogrammes d'air comprimé à 30 atmosphères. La bouillotte contient 75 litres d'eau chaude. Le diamètre des roues est de 0m,45, l'écartement des essieux 0m,80. Le poids total est, en charge : 2300 kilogrammes (Holtzer, *Bull. min.*, 2e, IX, 129. — Chansselle, *CRM*, 1878, 208. — *Appareils exposés* par la Société générale des moteurs à air comprimé du système Mékarski. Paris, chez Éthiou-Pérou, p. 20).

([2]) Elles pèsent 711 kilogrammes, marchent à la pression de 14 kilogrammes, avec des cylindres de 0m,10 de diamètre et 0m,20 de course. Elles traînent 2 à 3 tonnes, à raison de 10 à 13 kilomètres à l'heure (*Glasgow Herald* du 3 août 1878. — *CRM*, 1878, 208).

([3]) Tresca, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 330. — *Génie civil*, III, 502. — *Die elektrische Eisenbahn zu Lichterfelde* (*Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen*, 1881, Band VIII, Heft 12).

([4]) Haton de la Goupillière, *Revue des progrès récents de l'exploitation des mines et de la construction des machines à vapeur* (*Annales*, 7e, XVI, 66).

occasions [1], non pas précisément dans les mines, où l'on n'a nulle raison de s'abstenir de poser des voies ferrées, mais à leurs abords, pour en écouler les produits sur des routes ordinaires. C'est, du reste, une assez fausse solution. Si le pays est peu accidenté, il se prêtera, sans doute, à l'établissement de chemins de fer, et s'il est montagneux, à l'emploi de plans inclinés, ou, dans des cas extrêmes, de plans aériens.

Disons enfin que des locomotives ordinaires ont été quelquefois utilisées [2], non plus pour la traction libre sur palier, mais pour élever les matières sur des rampes très redressées. Comme elles ne sauraient les gravir en raison de la simple adhérence, on les fait alors travailler de la même manière que les chevaux, dans des conditions analogues ; c'est-à-dire qu'elles circulent sur palier, en halant le train à l'aide d'un câble et d'une poulie de renvoi, établie au sommet du plan incliné.

Les considérations relatives à l'emploi des locomotives devaient naturellement trouver leur place dans ce chapitre, consacré au matériel roulant. Je ferai, en même temps, observer, que nous y trouvons un premier exemple des *tractions mécaniques*, dont le fonctionnement, à l'aide de machines *fixes*, fera l'objet du chapitre XXIX.

(1) On les a employées aux mines de Sain-bel, sous la forme de tricycles, afin de moins fatiguer les ornières. Elles conduisaient des trains de 16 à 20 tonnes. Mais elles ont disparu lors de l'établissement d'un grand plan automoteur.

(2) Par exemple, aux mines de Saint-Pierre-d'Allevard.

CHAPITRE XXVIII

PLANS INCLINÉS AUTOMOTEURS

—

§ 1

ENSEMBLE DU MÉCANISME

632 — *Classification des plans inclinés.* — Lorsque la pente excède la limite étroite, que nous avons déterminée pour le roulage libre des véhicules (nº 593), soit dans l'intérieur des mines, soit à leurs abords, il devient nécessaire de maîtriser leur mouvement en les attachant à un câble. Celui-ci présente la longueur même du *plan incliné*. Il passe sur une poulie, installée au sommet dans un plan parallèle (fig. 425). Avec cette combinaison, l'inclinaison devenant indifférente, on adopte ordinairement le chemin le plus court, et l'on dispose l'ouvrage suivant la ligne de plus grande pente du gîte.

Dans certains cas, cependant, l'on se met en demi-pente, quand le plongement devient tout à fait excessif.

Ce même dispositif s'applique encore [1], lorsque des rejets sensiblement parallèles découpent le gisement en une série de champs d'exploitation naturels, compris entre les diverses intersections du gîte et de ses croiseurs. Ces droites étant, en général, obliques sur la direction, les panneaux, au lieu d'avoir, comme à l'ordinaire, la forme d'un rectangle, prendront, en principe, celle d'un parallélogramme. Il sera, dès lors, naturel, pour égaliser les services

[1] Decize (Nièvre, la Machine).

de part et d'autre, de disposer, suivant la ligne médiane, le plan incliné qui sert d'artère à la production.

Il peut arriver que des inflexions du gisement (ou de la surface du sol, s'il s'agit d'un plan extérieur), obligent à dévier le profil de la ligne droite; mais c'est toujours une combinaison regrettable. On adopte alors, en projection, une ligne polygonale, et les différents plans se rejoignent à l'aide de paraboloïdes de rac-

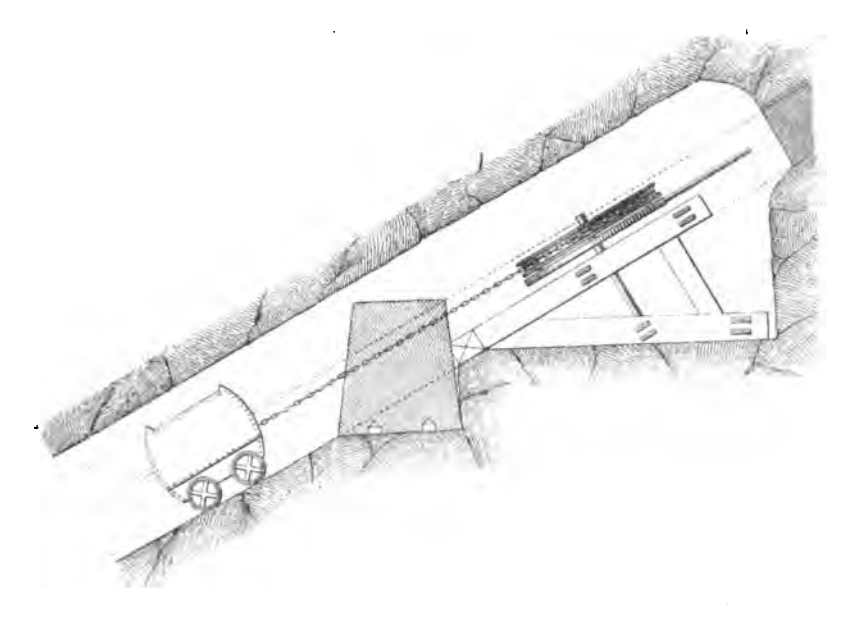


Fig. 425. Plan incliné automoteur.

cordement [1], avec des congés de 20 à 25 mètres de rayon, au minimum.

633 — En ce qui concerne l'usage que comportent les plans inclinés, deux cas peuvent se présenter. Si, conformément à la règle ordinaire, le minerai n'a qu'à descendre à un niveau inférieur, il est inutile de se préoccuper d'un moteur. La gravité suffit, non seulement pour faire descendre le train et son chargement, mais

[1] Molières (Gard), Sommo-Rostro (Biscaye).

encore pour remonter un nombre égal de wagons vides, attachés à l'autre extrémité du câble. Les deux poids morts s'équilibrent en théorie. Quant aux résistances passives auxquelles ils donnent lieu, elles s'ajoutent entre elles, et avec celles qui sont dues à la présence de la charge utile. Mais la descente de celle-ci suffit, et au delà, dès que la pente est importante, pour les compenser par un travail positif, dont la plus grande partie restera même disponible. Cet excédant déterminerait donc un accroissement progressif de la force vive, si on ne le détruisait, au fur et à mesure de sa production, par l'application d'un travail négatif égal, développé par un frein, à la demande de l'accélération qui tend à se produire. De cette manière, le train, après une courte phase accélératrice pour sa mise en mouvement, descend uniformément, puis le serre-frein amortit finalement sa vitesse, pour le déposer sans choc à la recette inférieure. Un tel appareil, dont nous étudierons avec soin les détails, porte le nom de ***plan incliné automoteur***.

Il en est tout autrement, lorsque des ***travaux en vallée*** se trouvent en contre-bas du niveau auquel il s'agit de faire parvenir leurs produits. Ceux-ci ont alors à ***gravir une rampe***, au lieu de ***descendre une pente***. Un moteur spécial devient par conséquent nécessaire. L'ensemble est appelé ***traction mécanique***. Ajoutons immédiatement que ces appareils sont également employés en palier, pour vaincre le travail négatif des résistances passives, qui demeure alors seul, sans l'adjonction de celui de la gravité. On substitue par là une machine fixe aux moteurs ambulants : homme, cheval ou locomotive, que nous avons vus jusqu'ici appliqués à cette fonction.

L'étude des tractions mécaniques fera l'objet du chapitre suivant, celui-ci restant exclusivement consacré à ce qui concerne les plans automoteurs.

634 — *Plans à simple effet.* — Les plans inclinés automoteurs peuvent être à ***simple effet*** ou à ***double effet***. En outre, chacun de ces deux modes fondamentaux comporte trois variantes distinctes. Envisageons d'abord le simple effet.

Ce système convient pour des services d'une activité modérée. Il emploie, en effet, deux fois plus de temps que le second, attendu que les manœuvres de descente du matériel plein, et de remontée des véhicules vides, sont alors successives et non plus simultanées, comme dans l'esquisse que nous en avons présentée ci-dessus (n° 633). De plus, on ne fait, la plupart du temps, mouvoir de cette manière qu'un seul wagon à la fois, bien que le contraire soit parfaitement admissible. Sur la seconde voie, circule alors un *chariot-contrepoids*, dont la masse est intermédiaire entre celles du wagon plein et du wagon vide. Le contrepoids est donc entraîné par le chariot plein, mais il remonte à son tour le wagonnet vide, qui prend la place du précédent à la recette inférieure.

Dans une première variante, la seconde voie est latérale à la première. On peut, pour diminuer la portée du plafond, la prendre plus étroite, puisqu'elle est affectée à un véhicule spécial qui reste toujours le même. On emploie surtout ce type, quand les travaux ne se développent que d'un seul côté du plan.

Avec la seconde variante, la voie du contrepoids est située entre les rails de la première, et ce chariot est assez bas pour pouvoir passer sous la berline, à l'instant de la rencontre.

Dans une troisième variante, le plan incliné ne présente plus qu'une seule voie. Le contrepoids, au lieu d'y circuler en même temps que le matériel roulant, descend verticalement dans un bure, pratiqué à la tête du plan. Rien n'empêche d'ailleurs de donner à ce puits une profondeur beaucoup moindre que la longueur du plan ; ce qui serait cependant nécessaire, si le même câble, passant sur une poulie verticale, soutenait, à ses deux extrémités, le contrepoids et le wagonnet. Il suffira d'attacher chacun de ces derniers à deux câbles distincts, passant respectivement sur des tambours, dont les rayons présentent le même rapport que les longueurs des deux ouvrages. Il va sans dire, en même temps, que pour conserver l'égalité des travaux, en dehors de l'influence des résistances passives, on devra modifier la masse du contrepoids, en raison inverse de la hauteur que l'on substitue pour son parcours, à la projection verticale du plan incliné.

635 — *Plans à double effet.* — Dans le système à double effet, une première variante présente, d'un bout à l'autre du plan, deux voies distinctes, c'est-à-dire quatre rails. C'est le mode le plus simple; mais il exige beaucoup de largeur pour l'ouvrage, et de portée pour le plafond. Tout au moins réduit-on, autant que possible, l'entre-voie, et l'espace qui sépare le véhicule des piédroits, ce qui crée un danger extrêmement grave pour la circulation des hommes, laquelle, d'ailleurs, doit être absolument interdite, en principe, sur les plans inclinés.

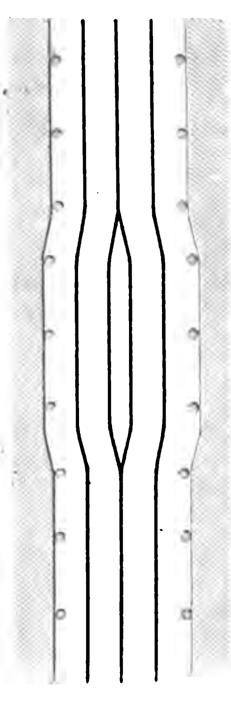


Fig. 426.
Plan incliné à trois rails.

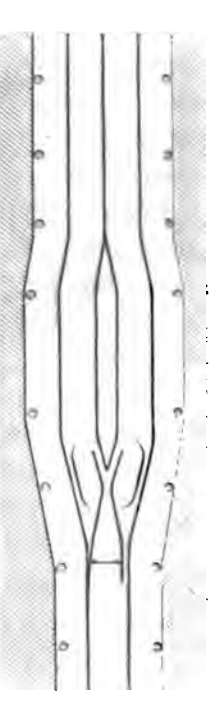


Fig. 427.
Plan incliné à voie unique.

Avec la seconde variante, dite *à trois rails* (f. 426), les deux voies ont un rail commun. Au milieu de la longueur, et sur une étendue suffisante pour contenir les plus longs convois, l'on rétablit les deux voies complètes, pour permettre le croisement des trains montant et descendant.

Dans la troisième variante (fig. 427), le plan ne présente plus qu'une seule voie, c'est-à-dire deux rails. Pour la raccorder avec l'évitement, qui présente encore les deux voies complètes, on emploie des aiguilles, que les wagons de tête manœuvrent eux-mêmes. Supposons, en effet, les deux trains à la rencontre, et le train descendant sur l'évitement de gauche. L'aiguille lui est fermée, mais son mentonnet externe s'ouvrira passage, tandis que le mentonnet

interne plaquera la seconde aiguille contre le rail. Les choses restant en cet état, rien ne s'opposera, pour la manœuvre suivante, à la remontée de ce train par le même évitement. Le train qui descend par la voie de droite, exécutera pour son propre compte des manœuvres semblables.

§ 2

DÉTAILS DU MÉCANISME

636 — *Câble.* — L'importance du câble est telle, que nous lui consacrerons, dans la théorie de l'extraction, la totalité du chapitre XXXI. Nous nous bornerons donc ici, à ce qui concerne spécialement son application au plan automoteur. Elle peut se faire suivant trois modes distincts.

Le premier emploie ***un câble sans fin*** (1). Sa longueur totale est double de celle du plan. On le fait passer sur deux poulies, dont l'une se trouve installée à la tête du plan incliné, dans les conditions ordinaires. La seconde est montée sur un axe porté par un châssis mobile, qui est sollicité par un poids, afin de mettre les deux brins en tension. La pesanteur se trouve alors, à chaque instant, en équilibre sur toutes les parties du câble, tandis que, dans les autres systèmes, elle occasionne des perturbations importantes. En outre, le service peut se faire indifféremment pour tous les sous-étages desservis par le plan. Si, en effet, une costresse quelconque fournit un wagon plein, qu'il s'agit de descendre par le câble à la recette inférieure, l'autre brin se mouvant d'une quantité rigoureusement égale, remontera un wagon vide du pied du plan à la même costresse.

637 — Dans le second mode, on emploie ***un câble à deux bouts***, et une poulie unique placée à la tête du plan. Si le quartier présente plusieurs sous-étages, on compose le câble de ***mises distinctes***, que l'on peut assembler ou désassembler facilement, à l'aide de man-

(1) Dessailly, *CRM*, 1883, 66. — *Bulletin* de la Société des Ingénieurs sortis de l'École spéciale d'industrie et des mines de Hainant, XII, n° 4.

chons à vis. Imaginons que, de la poulie de tête, descendent, de part et d'autre, sur toute la longueur du plan, deux brins, dont les tronçons successifs correspondent exactement aux diverses costresses. Pour en desservir une quelconque, nous détacherons toute la portion de l'un des brins qui est située entre cette galerie et le pied du plan, et nous remplacerons cette partie par le wagon plein. Un chariot vide attaché à l'autre extrémité, à la recette inférieure, éprouvera un déplacement égal à la descente du wagonnet chargé, et remontera par suite au même niveau. Cette manœuvre pourra ensuite se renouveler indéfiniment.

Lorsqu'il s'agira de changer de sous-étage, l'un des câbles étant supposé aboutir à la recette inférieure, on allongera ou l'on raccourcira l'autre brin, de ce qui est nécessaire pour qu'il se termine à la nouvelle galerie, en assemblant ou désassemblant les tronçons qui séparent celle-ci de la précédente. Tout se trouvera dès lors, comme la première fois, prêt pour ce nouveau service. Pour faciliter ces manœuvres, des étaux servent à pincer les tronçons, pour les maintenir en place, et empêcher leur glissement sous l'action de la pesanteur, pendant qu'ils ne sont pas en service.

638 — Le troisième mode fait intervenir ***deux câbles à deux bouts***, mesurant chacun toute la longueur du plan. Au lieu de ***passer sur une poulie sans s'y fixer***, comme dans les cas précédents, ils ***s'enroulent sur deux tambours distincts en y demeurant adhérents***. Ces tambours sont montés sur un même axe, élevé normalement à la tête du plan, et les câbles s'y disposent en deux sens opposés. Si donc on imagine que l'un d'eux soit entièrement enroulé, de manière à permettre d'attacher à son extrémité un chariot plein, à la recette supérieure; l'autre brin sera, par cela même, complètement déroulé. On pourra donc, au pied du plan, l'atteler à un wagon vide. De cette manière, la manœuvre se fera un nombre quelconque de fois, sur toute la longueur de l'ouvrage. Pour changer de sous-étage, on profite de ce que l'un des tambours peut être à volonté calé, ou rendu fou sur l'axe commun. L'autre brin étant entièrement déroulé, on déclanche le tambour, qui est en ce moment garni de la totalité de son câble, et on laisse

filer celui-ci par la rotation de ce tambour, rendu indépendant, sans entraîner le second, jusqu'à ce que l'extrémité de ce brin descende à la costresse qu'il s'agit de desservir. Dans cette situation, on renclanche la clavette qui établit la solidarité des deux treuils, et l'on peut alors faire le service entre ce niveau et la voie-de-fond. Il ne diffère du précédent, qu'en ce que le mécanisme, au lieu de se trouver à la tête de la travée actuelle, se trouve installé beaucoup plus haut, à une distance représentée par des portions de câbles qui restent rectilignes, sans jamais s'enrouler, pendant ce nouveau fonctionnement.

639 — *Poulie.* — L'axe de la poulie de renvoi, ou du tambour d'enroulement, s'implante, comme nous l'avons dit, perpendiculairement au plan incliné, de telle sorte que celui-ci soit parallèle au plan de la poulie. Cette dernière présente un diamètre égal à l'intervalle des axes des deux voies, diminué du diamètre du câble, afin que les deux brins se trouvent exactement disposés suivant les axes de ces voies.

La gorge est fouillée en demi-tore. On peut aussi la former de deux troncs de cône, réunis par leur petite base, afin que la tension du câble lui communique une tendance à s'imprimer comme un coin dans cette fente, pour augmenter la pression normale, et, par suite, l'adhérence.

On sait que celle-ci augmente très rapidement, avec l'angle au centre embrassé par l'enroulement [1]. On peut donc, pour équilibrer, par une adhérence suffisante, une force de traction considérable, en évitant le glissement qui supprimerait radicalement l'action du frein, avoir besoin d'élever cet angle au delà d'une demi-circonférence. On lui donne alors pour valeur un nombre impair quelconque $2n+1$ de demi-circonférences, en enroulant n fois le câble sur la jante de la poulie, suivant des spires juxtaposées. Si cette disposition se pratiquait avec une surface cylindrique, à chaque révolution, la spire de gauche disparaîtrait par le déroulement, tandis qu'une nouvelle circonférence apparaîtrait à droite, en

[1] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 416.

raison de l'enroulement. Le point de contact se déplacerait donc incessamment vers la droite. On serait, par suite, obligé de donner à la poulie, suivant ses génératrices, une largeur proportionnelle au développement du plan incliné, laquelle serait tout à fait irréalisable. On remédie à cette difficulté au moyen de diverses solutions.

640 — La première consiste à donner à la jante une conicité très accusée, de telle sorte que le câble ne puisse s'y tenir en équilibre, et glisse latéralement vers la plus petite base, le point d'enroulement revenant incessamment à cette extrémité, au fur et à mesure qu'il éprouve, ainsi que nous l'avons expliqué, une tendance à s'en éloigner.



Fig. 428. Double treuil d'adhérence.

641 — Un second moyen consiste à associer un second treuil au premier. On y refouille n gorges distinctes, tandis que celui-ci en présente de son coté $n + 1$ (fig. 428). Dans ces conditions, les $2n + 1$ demi-circonférences d'enroulement alternent de l'un sur l'autre des deux solides; le câble n'adhérant jamais par plus de 180 degrés de suite, se détache chaque fois de la jante dans les conditions ordinaires, et l'on supprime ainsi la circonstance qui donnait naissance au déplacement latéral. Ajoutons que ce système peut encore lui-même se réaliser de deux manières différentes, selon que les brins se trouvent disposés suivant les tangentes extérieures ou intérieures des deux cercles. Cette seconde variante a évidemment pour effet d'augmenter l'arc embrassé, et, par suite, l'adhérence.

642 — Une troisième solution, qui se répand tous les jours davantage, consiste dans l'emploi d'une poulie unique du type Fowler (fig. 429, 430). Sa jante est garnie d'une double série de cames à bascule. Sous l'influence de la pression transversale exercée contre la jante par le câble, en raison de la tension qu'il

éprouve, ces appendices se referment sur lui comme des tenailles, et opposent à sa tendance au glissement une énergie de serrage, qui lui est précisément proportionnelle, d'après un rapport de bras de levier dont on reste d'ailleurs maître, dans la construction de la poulie. Le glissement est donc rigoureusement impossible, quelque intense que soit la force qui tend à le produire (1).

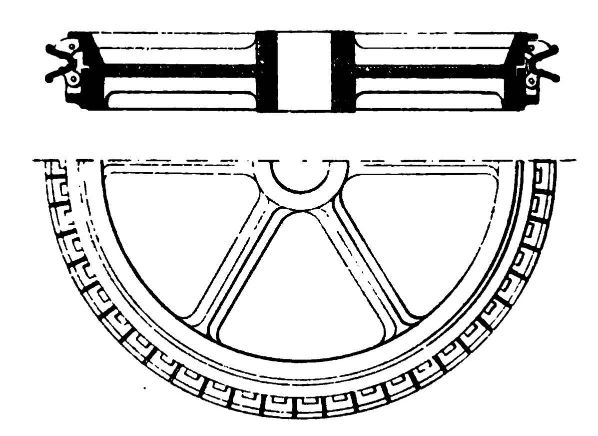


Fig. 429 et 430. Poulie Fowler (coupe et plan).

643 — *Frein.* — Pour amortir la rapidité du mouvement, en détruisant, par un travail négatif, le travail positif de la gravité, on peut employer deux sortes d'appareils : les *freins* ou les *régulateurs*.

Le frein fait intervenir l'action spéciale de l'homme, que celui-ci gradue arbitrairement, d'après son appréciation des besoins de la manœuvre. Il en existe deux types distincts.

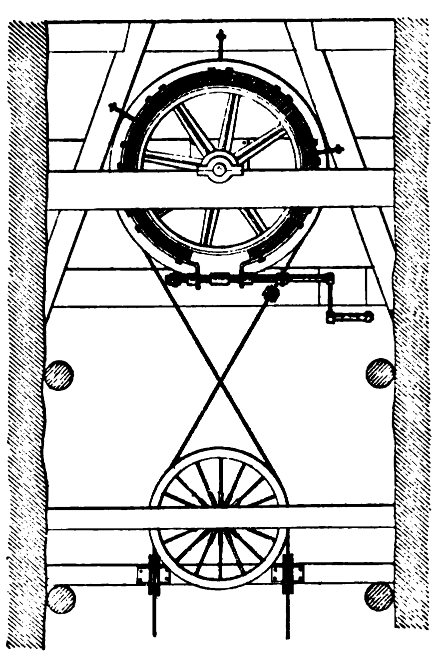
Dans un premier dispositif, le serre-frein développe directement, par son action musculaire, la force destinée à fournir la résistance. Pour ralentir le mouvement, il devra donc augmenter son effort; pour activer la vitesse, au contraire, il mollira plus ou moins son action.

Dans un mode inverse, on commence par opposer à la tendance

(1) M. de Champigny a également proposé un type de poulie à adhérence (*CRM*, 1880, 28).

au mouvement une résistance fixe et surabondante, de telle sorte que la mise en train ne puisse se produire d'elle-même. L'homme agit alors en sens inverse du cas précédent, en joignant son effort à l'action de la pesanteur, au lieu de s'établir en antagonisme par rapport à elle. On arrive ainsi à égaler l'effort moteur à la résistance, de manière que le mouvement prenne naissance. Pour ralentir ou arrêter, le garde-frein n'a qu'à diminuer son action; pour accélérer le mouvement, il lui faut la renforcer en proportion de l'effet à obtenir.

Dans la pratique, l'hésitation n'est pas possible entre les deux principes. *Le frein doit être normalement serré*, l'enchaîneur n'agissant que pour le desserrer. Avec l'ancien mode, en effet, le serre-frein peut se trouver maîtrisé par une vitesse croissante, tandis qu'il voit sa propre force décroître par la fatigue musculaire. Il peut se trouver pris d'un éblouissement, ou être victime d'un accident, capable de paralyser son action. Dans de telles conditions, le train abandonné à lui-même se précipitera sur la pente, et se brisera à la partie inférieure en déterminant les plus graves désordres. Avec le second système, au contraire, si l'homme est mis hors de combat, c'est l'action motrice qui se trouve par là diminuée, et le train rentre dans le repos.


Fig. 431. Frein à vis.

644 — L'organe récepteur sur lequel agit le garde-frein est le

plus souvent un simple levier, de nature à multiplier sa force dans un rapport important. On emploie également une vis (fig. 431), avec laquelle on peut obtenir pratiquement une puissance beaucoup plus grande, et qui, une fois mise en serrage, y reste, sans que le garde-frein ait besoin de maintenir en permanence son effort musculaire.

L'organe opérateur qui agit d'une manière immédiate sur le corps tournant, est ordinairement un simple sabot de bois, qui presse normalement contre la jante. On emploie aussi le frein à bande de tôle, dont l'action est beaucoup plus énergique (1).

645 — *Régulateurs.* — Le régulateur diffère du frein, en ce qu'on y substitue à l'action musculaire du garde-frein une résistance passive fonction de la vitesse. Ce mode d'action laissera donc le mouvement prendre naissance, et s'accélérer progressivement jusqu'au degré pour lequel la résistance ainsi développée fait équilibre au travail de la gravité (2). Par là, on perd, à la vérité, les avantages d'une action personnelle et graduée arbitrairement d'après l'appréciation des circonstances. Mais on réalise, par compensation, une fixité plus satisfaisante de l'allure, puisque sa réglementation devient alors automatique. Cet avantage est surtout apprécié pour les grands plans de la surface, tandis que l'intervention arbitraire de l'enchaîneur est ordinairement préférée dans l'intérieur.

La résistance des fluides fournit très simplement le principe de l'action de ces régulateurs. On peut employer à cet effet l'air ou l'eau. Une roue à palettes (fig. 432) est mise en rotation, à l'aide d'un train d'engrenage, par le tambour d'enroulement du câble. Cette action est si puissante, qu'on a dû, à Saint-Pierre-d'Allevard, réduire successivement la surface des palettes et finir par les supprimer complètement, la carcasse de l'appareil suffisant pour brasser l'air, de manière à équilibrer le travail de la gravité à une vitesse convenable.

646 — Avec le régulateur Villiers, on fait tourner la roue dans

(1) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, p. 417.
(2) *CRM*, 1881, 185, Rossigneux; 1882, 36, Durand; 1883, 106, Caillot. — *Bull. min.*, 2e, X, Griot.

l'eau, afin d'augmenter la résistance à égalité de surface, de manière à diminuer les dimensions de l'appareil. Des expériences ont été

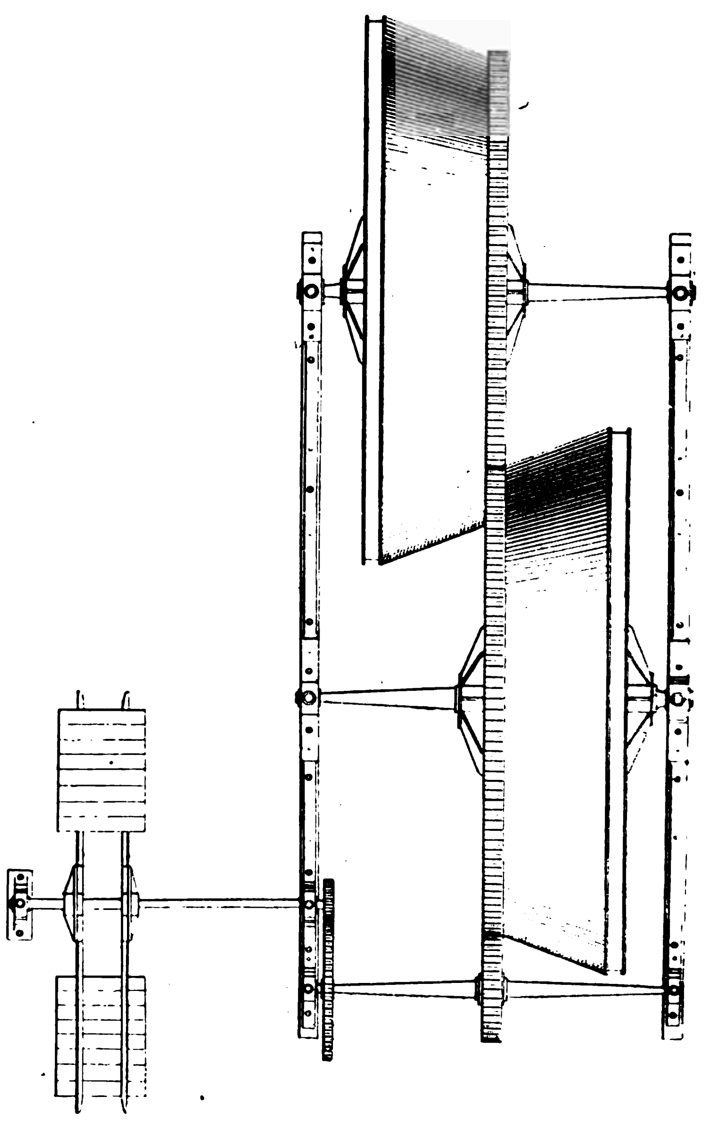


Fig. 432. Régulateur à ailettes et tambours coniques.

faites à Commentry sur le plan incliné de Marignon, qui présente, à

la surface, 650 mètres de longueur, et rachète une différence de niveau de 96 mètres. La mesure de l'échauffement de l'eau, rapprochée de celle du travail de la pesanteur, a montré que les deux tiers seulement de ce travail étaient absorbés directement par la résistance de l'eau, et que le surplus passait dans les résistances passives de l'appareil et de l'atmosphère.

Il est nécessaire de remarquer, qu'avec ces organes, la vitesse ne saurait demeurer absolument constante, car l'un des câbles se raccourcit, l'autre s'allonge, et, par suite, les poids des deux trains sont incessamment variables. Cette cause de perturbation se retrouvera dans le problème de l'extraction, et y prendra assez d'importance pour que nous lui consacrions entièrement le chapitre XXXIII. Je me contenterai de dire, en ce moment, que l'on a appliqué, à quelques plans inclinés de grande dimension (1), certains appareils, dérivés des solutions relatives à l'extraction verticale (fig. 432), et sur lesquels nous aurons occasion de revenir plus tard.

647 — *Rouleaux.* — Le frottement du câble sur le sol, si on le laissait s'effectuer sans intermédiaires, développerait une grande résistance (2), et une usure fâcheuse de cet organe si essentiel. Pour éviter ce double inconvénient, l'on dispose en travers de la voie des rouleaux de bois, qui tournent sur des axes horizontaux, et sur lesquels passe le câble, de manière à substituer le roulement au glissement. Il en devrait du moins être ainsi. Malheureusement ces rouleaux sont souvent mal entretenus. Ils cessent de tourner, et ne con stituent plus dès lors qu'une complication sans utilité.

Dans les cas, très rares, où le plan incliné est formé de deux travées rectilignes, on doit installer, à leur point d'intersection, un rouleau de renvoi, dont l'axe soit perpendiculaire au plan formé par les deux brins du câble.

Aux trois grands plans de Saint-Pierre-d'Allevard, on a employé 1200 rouleaux, formés de douves comme des barils. Deux cercles en fonte sont évidés suivant une rainure circulaire, présentant une en-

(1) Comme à Saint-Pierre-d'Allevard.

(2) C'est celle du *guide-rope*, employé pour amortir la course des aérostats, au moment de l'atterrage.

trée. Les douves engagées dans ces rainures par leurs extrémités, sont poussées à fond les unes à la suite des autres. L'assemblage est ainsi rapide et solide. La dernière forme clef, et on l'assujettit à l'aide de deux boulons. Le démontage devient par là très aisé pour les réparations.

648 — *Chariot-porteur.* — L'inclinaison du plan présente cet inconvénient capital, que l'axe de symétrie du chargement perd sa verticalité, en devenant normal à la voie, au moment où le véhicule s'y engage. Cette irrégularité devient inadmissible, quand la pente atteint 30°. On a employé pour y remédier divers moyens.

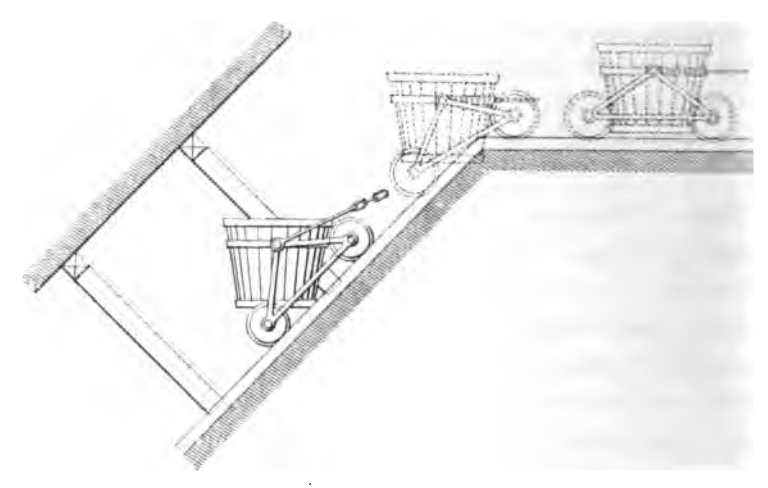


Fig. 433. Bennes à bascule.

Un premier procédé consiste à articuler le matériel roulant, de manière que la caisse puisse conserver sa verticalité, lorsque le châssis s'engage sur la pente. C'est le cas des bennes roulantes usitées dans certaines mines d'anthracite de l'ouest de la France (fig. 433). Le centre de gravité du cuveau étant situé au-dessous de son axe de suspension, le système prend de lui-même une position d'équilibre stable.

On a employé de même des plates-formes circulant à poste fixe sur le plan incliné, qu'elles ne quittent pas. Elles portent des pla-

teaux de balance articulés à des axes de suspension, de manière à pouvoir conserver leur horizontalité, ainsi que les wagonnets que l'on y charge transversalement. Ce système, trop compliqué, a été introduit à Nachtigal par M. Westmeyer.

649 — Mais la véritable solution, simple et pratique, consiste dans l'emploi du *chariot-porteur* (fig. 434). On désigne sous ce nom un truc attelé en permanence au câble. Un plateau lui est assemblé sous un angle égal à l'inclinaison du plan. D'après les propriétés des angles alternes-internes, cette plate-forme restera horizontale, en se transportant parallèlement à elle-même. L'on pourra, par conséquent, y charger transversalement les wagonnets qui débouchent par chacune des costresses, en amenant en regard le chariot-porteur. Une fois installée sur le plateau, la berline descend par un mouvement de flanc, en conservant son aplomb. Au pied du plan, une fosse en forme de prisme triangulaire reçoit le porteur, de telle sorte que son plan supérieur se trouve au niveau des rails, sur lesquels on n'a plus qu'à engager le wagonnet.

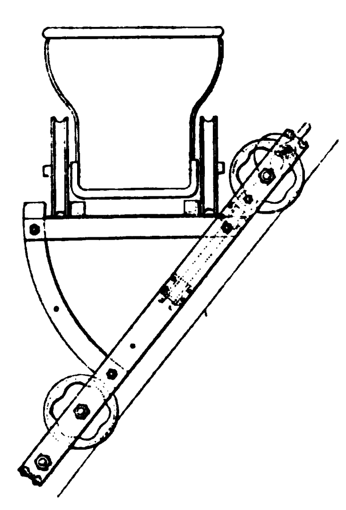


Fig. 434. Chariot-porteur.

On a construit des chariots-porteurs à plusieurs étages, pouvant recevoir deux, et même quatre berlines, en vue d'obtenir plus d'activité.

Dans le chariot-porteur Tazza-Villain, la plate-forme est à charnière, de manière à pouvoir prendre, par rapport au châssis roulant, diverses inclinaisons. Cette modification a été introduite en vue des méthodes de grandes tailles, dans lesquelles (n° 467) le plan incliné doit être transporté de distance en distance, pour jouer le rôle de cross-gate, en recoupant toutes les costresses, et supprimant, d'un seul coup, l'entretien de tous leurs tronçons compris entre l'ancien

et le nouvel emplacement. Comme les couches sont loin d'avoir un pendage rigoureusement constant, il arriverait souvent que le chariot-porteur devrait être rebuté, si l'on ne possédait un moyen de régler l'orientation de sa plate-forme.

650 — *Attelage.* — L'attelage se fait souvent à l'aide d'un crochet mobile, que le herscheur met dans son wagon, pendant qu'il le roule en palier, afin de s'en servir pour lui faire parcourir les plans inclinés.

L'attelage d'un train par son premier chariot présente peu de sécurité, car les attaches qui réunissent entre eux les divers véhicules sont exposées à se rompre ; dès lors, chacun d'eux retrouvant sa liberté, l'on voit renaître toutes les conséquences que l'on avait voulu prévenir en l'enchaînant. On a employé, à cet effet, des crochets de sûreté, qui réunissent le câble aux divers wagonnets individuellement.

651 — *Parachute.* — En cas de rupture du câble, on a cherché à prévenir les conséquences de l'accident. Je citerai à cet égard l'*arrête-convoi* Joniaux. Il consistait en un wagonnet spécial, à l'aide duquel le câble remorquait le train. L'attache avait lieu par l'intermédiaire d'un fort ressort, manœuvrant une ancre de marine. Lorsque le ressort était tendu par l'attelage, l'ancre se trouvait soulevée. Mais, en cas de rupture de câble ou d'attelage, le ressort reprenant vivement sa forme naturelle, l'ancre s'abattait et se piquait dans les traverses de la voie. Ce procédé, trop compliqué, ne s'est pas répandu.

On peut résoudre le problème très simplement, mais seulement pour l'une des moitiés de la question. Il suffit de laisser traîner, derrière le train montant, une reculoire qui se pique immédiatement dans le sol, si, le câble venant à se rompre, ce train se dispose à redescendre. Malheureusement, cette solution laisse sans secours le train descendant.

On trouve la même insuffisance, sans la même simplicité, dans l'emploi de clichages successifs, c'est-à-dire de loquets disposés suivant l'axe de la voie et pouvant basculer dans un plan vertical. Le

train montant est muni d'une patte, qui les efface tous sans difficulté. En cas de rupture, celui d'entre eux qui vient d'être franchi le dernier, recevrait immédiatement le train. Quand il s'agit de redescendre, on efface cette patte, et le wagon passe sans obstacle au-dessus de tous les clichages.

Ces procédés prennent plus de valeur, quand on les applique aux tractions mécaniques, et non plus aux plans automoteurs. En effet, le train montant, qui est seul à en bénéficier, se trouve être, dans ce cas, le train chargé, à l'inverse de ce qui a lieu sur les plans automoteurs. Il est donc alors celui des deux qui présente, pour son câble, le plus de chances de ruptures, et les suites les plus graves pour un accident.

652 — *Manœuvres.* — Il y a lieu de distinguer, pour les manœuvres, l'envoyage supérieur, la recette d'à-bas, et les diverses plates-formes des sous-étages intermédiaires.

A la recette supérieure, le plan doit être constamment barré par une chaîne, pour éviter qu'un wagon puisse être, par inadvertance, précipité sur la pente. Cet obstacle n'est enlevé que pour l'embarquement du chariot. Il est remis en place immédiatement après. Il faut tenir la main strictement à l'exécution de cette manœuvre fastidieuse.

On a employé, dans le même but, un double clichage. Deux taquets font saillie au-dessus de la voie, à quatre mètres l'un de l'autre. Ils sont montés sur des charnières horizontales, et reliés entre eux de manière que la rotation de l'une commande celle de l'autre. Un levier, à la disposition de l'enchaîneur, sert à les actionner ensemble. Les taquets sont orientés à 90° l'un de l'autre, de telle sorte que, si le premier est effacé sous le plan de la voie, le second fait saillie au dehors, et réciproquement. Dans l'état de repos, le taquet supérieur est redressé, et empêche tout véhicule engagé par mégarde de descendre sur le plan. Lorsque le moulineur veut envoyer le chariot, il efface ce taquet, en redressant par cela même le second, puis, pendant le temps que le wagon met à parcourir lentement leur intervalle, il renverse son levier de manière à effacer le second cran, pour livrer le passage. Si, au contraire, il

lui arrive de lâcher le premier cran, par une fausse manœuvre qui lance prématurément un wagon sur la voie, il lui suffit de ne pas perdre la tête, et de tenir ferme son levier. Par cela seul que le premier cran a été effacé, le second fait saillie, et le chariot se trouve arrêté après ce court intervalle.

653 — A la recette inférieure, se tient un receveur, qui détache les wagons pleins et attelle les wagons vides. Sa fonction est donc plus passive, tandis que l'enchaîneur d'en haut garde le rôle actif, engageant les wagons et dirigeant leur mouvement avec le frein. Néanmoins, celui-ci se conforme aux signaux du receveur d'à-bas, et n'effectue un départ qu'après avoir acquis la certitude que ce dernier est prêt à recevoir le train.

Ces signaux se donnent la plupart du temps à la voix. On emploie aussi un petit câble, destiné à tirer une cloche, ou à tourner un disque d'arrêt. On se sert également de tringles métalliques, qui

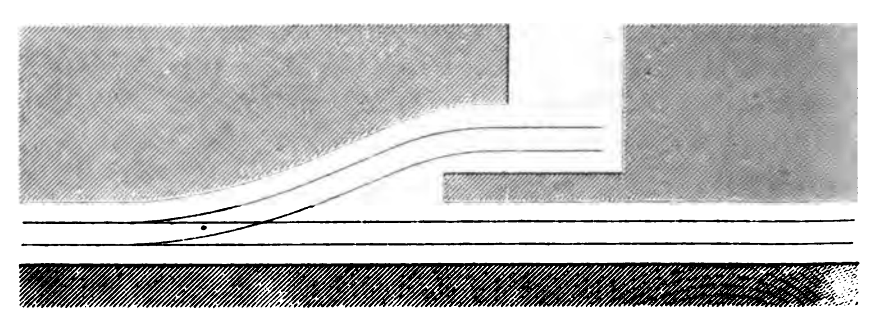


Fig. 435. Pied d'un plan incliné.

conduisent très nettement le son, quand on les frappe à l'une des extrémités. Le nombre des coups, ordinairement gradué de un à quatre, est convenu à l'avance, pour transmettre les divers commandements élémentaires.

En cas de dérangement qui laisse un convoi en détresse, ce n'est jamais le receveur qui doit monter dans le plan, pour le dégager. Le moulineur d'en haut descend, sans avoir à redouter pour sa propre sécurité, la remise en train.

La chute d'un wagon sur le plan, avant qu'il soit convenablement

enchaîné, peut venir couper en deux un train, qui passerait au même moment dans la voie de fond. Il est bon, à cet égard, d'établir le pied du plan dans une dérivation latérale de la galerie (fig. 435). La recette seule se trouve alors désorganisée par l'accident, ce qui est inévitable, mais on écarte ainsi de plus grands malheurs.

654 — Quant aux envoyages intermédiaires, ils se composent souvent d'une simple plate-forme, pour la facilité des opérations.

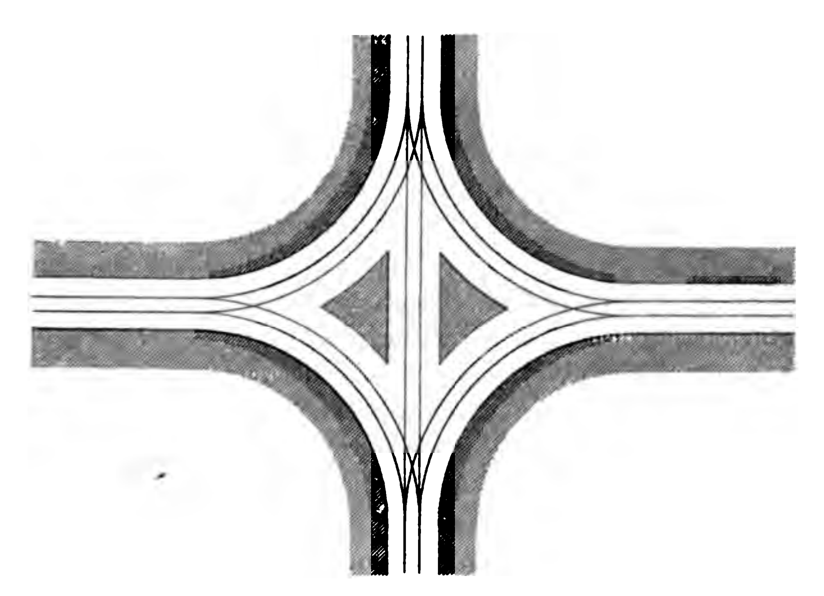


Fig. 436. Raccordement d'un plan incliné et d'un chassage.

Le câble se soulève légèrement sur ses rouleaux, par la tension de la charge, en franchissant ces brisures du profil en long. Les receveurs de ces envoyages s'effacent dans les costresses, pour les manœuvres des autres sous-étages. Ils barrent leur galerie par une chaîne, et veillent à ce que personne ne s'engage sur la plate-forme.

Dans certains cas, on emploie, pour ces raccordements, divers artifices spéciaux. On dispose quelquefois des couloirs latéraux (¹)

(¹) La Grand'Combe.

(fig. 436) pour recevoir, ou embarquer plus facilement les wagonnets.

La figure 437, qui ne représente que les rails, en sous-entendant les parois, montre la simplification que l'on peut apporter à ces petites gares, lorsque le matériel est assez léger pour permettre de le tourner sur des plaques, en le dirigeant à la main d'une voie sur l'autre.

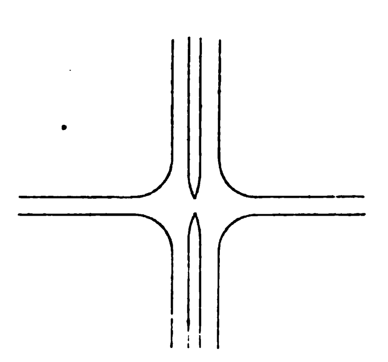


Fig. 437. Raccordement d'un plan incliné et d'un chassage.

On entaille également la sole du plan (¹), de manière à conserver la continuité des costresses (fig. 438). Le service d'embarquement à ce niveau se fait alors sans aucune difficulté. Des rails mobiles servent, d'autre part, à rétablir l'unité du plan, pour la desserte de l'amont-pendage.

On a encore disposé, dans certains plans inclinés en remonte (²), des plaques à charnière, qui reprennent l'horizontale pour recevoir les chariots de la costresse et les expédier au jour ; elles se couchent, au contraire, sur le plan pour le service de l'aval-pendage.

Si le plan est à chariot-porteur, et que celui-ci se trouve sur une voie, tandis qu'il s'agit d'y embarquer un wagonnet venant de la costresse opposée, on jette un pont entre les deux, au moyen de rails mobiles, que l'on installe en travers, afin de rétablir la continuité.

Pour raccorder avec un plan incliné une galerie de niveau située dans le même plan vertical, on dispose deux volets sur des charnières latérales, parallèles à l'axe de la galerie. Relevés contre les parois du plan incliné, ces volets laissent le passage libre. Si on les rabat horizontalement, ils constituent une plate-forme de service, pour établir une communication entre la galerie et l'amont-pendage du plan (³).

(¹) Ronchamp.
(²) Mondalazac.
(³) Firmy, La Voulte.

655 — On trouve quelquefois utile, dans les grands plans inclinés de la surface [1], de former, aux deux recettes extrêmes, les trains pleins et les trains vides sur des voies déterminées, au lieu d'alterner, comme dans le service ordinaire. On simplifie ainsi la circulation des véhicules entre ces têtes de ligne et la mine, ou le point de déchargement.

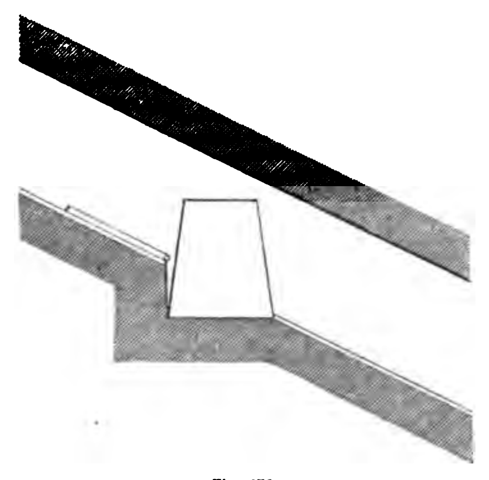


Fig. 438.
Raccordement d'un plan incliné et d'un chassage.

Dans ces conditions, la traction se fait alternativement *à brins croisés* et *à brins parallèles*. Si, en effet, nous supposons d'abord la disposition normale des plans ordinaires, c'est-à-dire les brins disposés chacun suivant l'axe de l'une des voies, celui qui vient de monter (avec des wagons vides), a maintenant à redescendre (avec des wagons pleins). Il doit donc changer de voie, d'après ce que l'on demande. De même, le brin qui est parvenu au pied du plan (en descendant des chariots pleins), n'a plus qu'à remonter (en remorquant des chariots vides). Il faut donc également qu'il prenne l'autre voie. Dès lors, dans cette seconde manœuvre, les brins, partant toujours (à très peu près) du même point de contact avec le treuil supérieur, échangent les situations de leurs extrémités libres. C'est ce qu'on appelle la position croisée. A la manœuvre suivante, ils reprendront leur parallélisme.

Pour diminuer les obliquités qui résultent de cette transposition, au lieu d'installer la poulie de renvoi exactement à la tête du plan incliné, on la reporte à une certaine distance, sur le palier qui fait

(1) Carmaux.

suite à celui-ci. Dans le sens vertical, les deux brins ne se gêneront pas, car l'un passe sur le tambour horizontal d'enroulement, tandis que l'autre arrive au contact par-dessous, afin qu'une même rotation les anime de mouvements contraires. On a soin également de disposer, à la tête et au pied, de faibles pentes et contre-pentes, pour aider les receveurs à former et à décomposer les trains, en facilitant l'engagement et le dégagement des véhicules.

656 — *Données numériques.* — La longueur des plans inclinés de la surface peut s'étendre bien au delà des limites qu'il

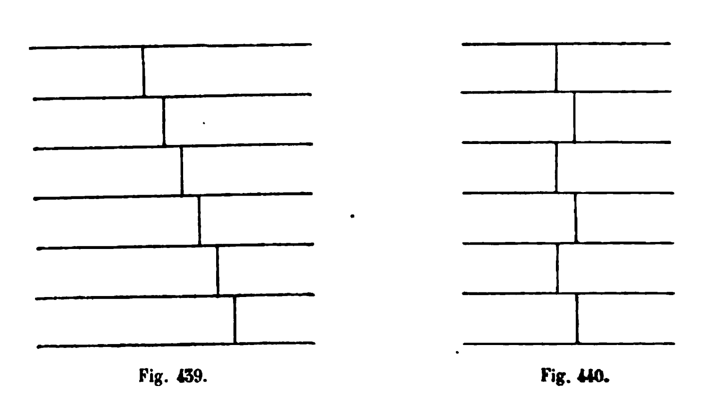


Fig. 439. Fig. 440.

est prudent de s'imposer dans les travaux souterrains. Quelques-uns dépassent 800 mètres. Il convient de ne pas excéder 100 mètres dans l'intérieur, et même de se tenir au-dessous de cette limite. Sans cela, les accidents présentent trop de gravité, et l'extensibilité des câbles, qui est proportionnelle à leur longueur, devient excessive.

Si l'étage que le plan doit desservir présente une relevée supérieure à cette limite de longueur, on la fractionne en plusieurs segments, au grand avantage du service des divers sous-étages, qui se trouve par là simplifié. On a soin alors de ne pas mettre ces travées en prolongement direct l'une de l'autre, et de les rejeter sur le côté, à une courte distance, suivant l'un ou l'autre des dispositifs représentés par les figures 439 et 440.

La pente doit être de 8° au minimum. Elle se redresse, dans cer-

taines circonstances, jusqu'à 80°. C'est pour ces cas extrêmes que l'on se met quelquefois en demi-pente (n° 632).

La vitesse doit rester modérée, de peur des accidents. On se tient en général entre 2 et 4 mètres. Sur les grands plans de surface munis de régulateurs, l'allure atteint 5 mètres par seconde, tandis que l'emploi des freins à la main donnait lieu, dans ces conditions, à des irrégularités qui portaient, par moments, la vitesse à 6 ou 7 mètres.

§ 3

PLANS BISAUTOMOTEURS

657 — On désigne sous le nom de *plan bisautomoteur* [1] un appareil dans lequel la descente du combustible est employée, non seulement à vaincre les résistances passives des poids morts, descendant ou montant entre la tête et le pied du plan parcouru par ce charbon, mais, en outre, à remonter le matériel vide sur une relevée supplémentaire, à un niveau supérieur à la tête de la travée de descente (fig. 441, 442). Nous avons vu plus haut (n° 441) l'utilité qui s'attache à ce relevage au point de vue du service du remblai.

En principe, on doit voir, dans cette combinaison, l'application à un effet utile, de l'excédent de travail que le frein était jusqu'ici chargé d'user en pure perte. Ce moteur, extrêmement ingénieux [2], peut être assimilé aux *chutes d'eau*, qui fournissent, sans aucune dépense, une source de puissance illimitée; l'insolation se chargeant incessamment de remonter l'eau, qui est parvenue au niveau de la mer, jusque dans les nuages, d'où la pluie et le régime hydrologique la ramènent perpétuellement au bief de l'usine. Dans le cas actuel, on se trouve en présence d'une *chute de charbon*, qui, sans être absolument indéfinie, puisqu'elle sera nécessairement limitée

[1] Les plans bisautomoteurs se voient à la Grand'Combe, dont ils constituent l'une des particularités les plus intéressantes. Les mines de Portes en ont possédé autrefois. M. Schmied vient également d'en établir à Seegraben (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, III, 219), mais sur une échelle beaucoup moindre. On en a aussi introduit à l'intérieur des mines de Carmaux.

[2] Dû à Bourdaloue.

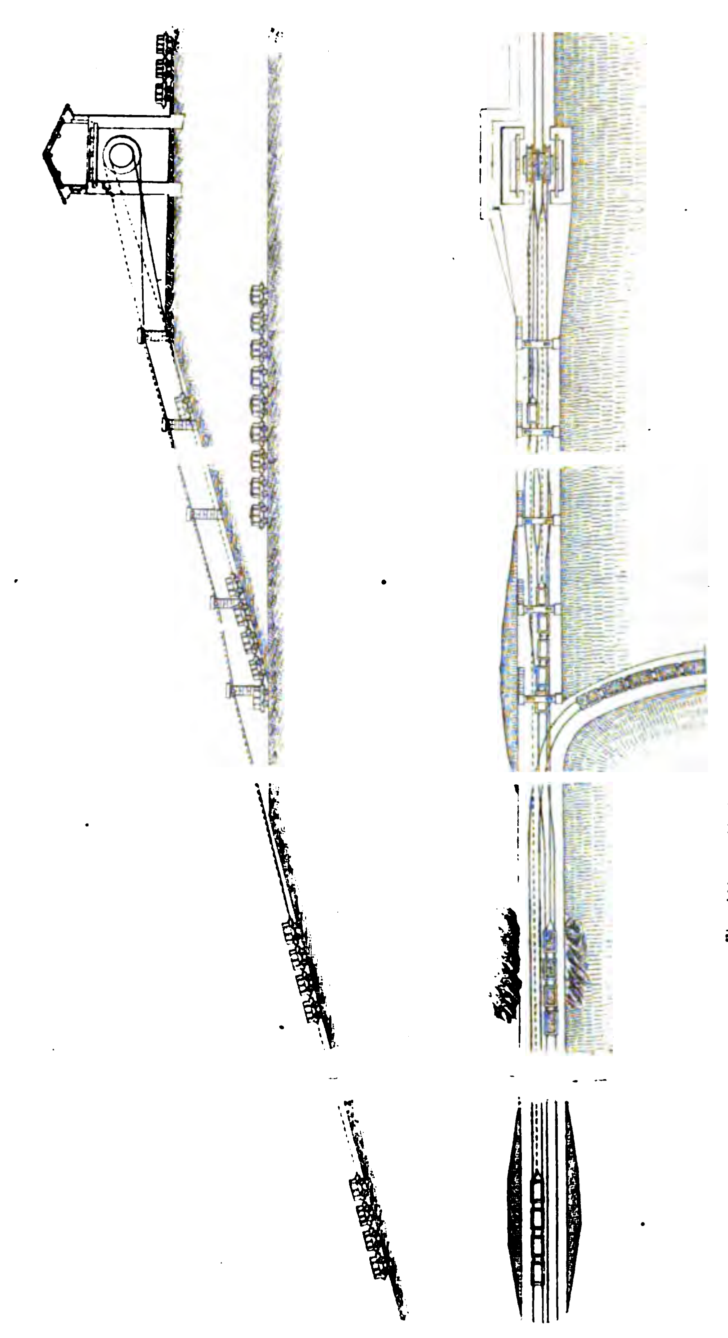


Fig. 411 et 412. Plan incliné biautomoteur (plan et élévation).

au cube du gisement exploitable, comporte néanmoins une durée très prolongée, et, dans tous les cas, fournira la puissance motrice en quantités exactement proportionnelles à l'office qu'on attend d'elle, puisqu'on ne lui demande que de remonter les véhicules affectés à son transport [1].

658 — A la recette intermédiaire, que je désignerai par A, et qui forme la tête du plan AB, on forme un train de n wagons pleins [2], et, au pied B de ce plan, un train de n wagons vides. Ils sont, l'un et l'autre, attachés aux extrémités d'un câble, qui passe sur une poulie tournant sur un arbre horizontal, établi, non pas en A, comme dans les plans automoteurs habituels, mais en C, au sommet de la travée supplémentaire le long de laquelle il s'agit d'élever le matériel vide. La longueur de ce câble est donc CA + CB, ou, sous une autre forme : AB + 2 AC, tandis qu'elle serait simplement AB avec un plan ordinaire.

En second lieu, on forme en A un train de $n+1$ chariots vides, attelés à l'extrémité d'un second câble de longueur AC, passant en C sur une poulie calée sur le même arbre que la première, et supportant, à son autre extrémité, un wagon unique, destiné à lui donner de la tension. Ce second câble se trouve, comme dans les conditions ordinaires, couché sur le sol, où il est supporté par des rouleaux, tandis que le précédent passe sur d'autres rouleaux installés à une certaine hauteur au-dessus de terre, sur des piliers de maçonnerie. Les deux poulies présentent des rayons rigoureusement proportionnels aux longueurs des travées AB et AC, de telle sorte que les deux extrémités de l'un et l'autre câble pourront, à chaque manœuvre, se mouvoir en deux sens opposés, sur chacun de ces deux plans respectifs.

659 — Si l'on engage sur la pente AB les n wagons pleins placés en A, ils exercent sur le câble ACB une traction capable de

[1] Nous rencontrerons un second exemple de ce principe dans la chaîne flottante d'équilibre (n° 681). On en peut rapprocher également l'équilibre établi à Commentry entre la descente du remblai et l'extraction du combustible (n° 440).

[2] A la Grand'Combe, on prend $n = 4$.

remonter de B en A les n wagons vides qui se trouvent en B, et, par la même manœuvre, n autres wagons vides de A en C (ce qui forme l'équivalent de l'ascension directe, en une seule fois, de n wagons vides de B en C). Quant au $(n+1)^e$ wagon du train vide que l'on a formé en A, il se trouve équilibré par le chariot unique attelé au câble en C, et nous pouvons, par suite, faire abstraction de tous les deux. On voit donc que le déplacement des $3n+2$ véhicules qui participent au mouvement, se résume par la descente sur AB de n wagonnets pleins, et la montée le long de BC de n wagonnets vides.

La répartition du travail, dans ces conditions, étant visiblement indépendante de n, nous pouvons la définir pour un seul véhicule dans chaque sens. On voit ainsi que, théoriquement, les deux poids morts s'équilibrent le long de AB, et que le poids utile, en descendant cette travée AB, doit commander, pour le poids mort, l'ascension supplémentaire suivant AC. Comme, d'ailleurs, ces longueurs inclinées sont proportionnelles à leurs projections verticales, qui figurent dans l'expression du travail de la pesanteur, nous pouvons dire, en résumé, pour l'égalité des deux travaux : moteur et résistant, que le poids utile et le poids mort doivent être en raison inverse des distances de la gare intermédiaire au pied et à la tête du plan total; ou plutôt, la distance à la tête du plan, qui sera déterminée par cette relation, constitue la valeur extrême qu'il est possible de donner à cette dimension de l'appareil. Au delà, il deviendrait impuissant à effectuer l'ascension. Au-dessous, il laissera disponible un excédent de travail, que l'on devra user au frein comme à l'ordinaire.

Il est inutile de faire remarquer que nous avons, pour simplifier ces explications, fait abstraction des résistances passives, qui auront pour effet d'abaisser cette limite dans une mesure notable, dont il serait aisé de tenir compte pour l'établissement d'un projet effectif.

CHAPITRE XXIX

TRACTIONS MÉCANIQUES

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS

660 — *Traction en palier.* — On appelle *traction mécanique* (¹) l'ensemble de l'appareil qui sert, à l'aide de machines fixes, soit à remorquer les trains en palier, au lieu de les faire accompagner par des moteurs ambulants, soit à leur faire gravir des rampes. Il y a lieu de distinguer dans cette description : d'un côté, le mécanisme qui sert à effectuer l'opération elle-même, et, d'autre part, la force motrice destinée à lui communiquer le mouvement. Ces deux questions nous occuperont successivement dans ce chapitre et dans le suivant.

En ce qui concerne la traction en palier, la tendance, toujours plus marquée, à la grande concentration de l'activité sur des

(¹) *Du transport mécanique de la houille* (Rapport fait à l'Institut des ingénieurs des mines du Nord de l'Angleterre, traduit par Briart et Weiler, 225 pages in-8°, et 52 planches, Mons, 1871). — A. Evrard, *Les moyens de transport*, in-4°. — *Bull. min.*, 2°, I, 239, Pernolet ; IV, 429, Georges Vuillemin, Note sur la traction mécanique par corde-queue, installée aux mines d'Aniche ; V, 396, Pernolet ; IX, 129, Holltzer ; XII, 165, Brüll, Chemin de fer à chaîne flottante des mines d'Aïn-Sedma. — *CRM*, 1880, 106, Chansselle, Chaîne flottante de Sain-bel. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re XXXIII, 190, Beer ; 2°, III, 200, Habets. — *Journal de Leoben*, XXII, 311, Traction mécanique aux mines d'Eisenerz. — *Engineering*, 1875, 60, 432, Micheroux, Traction mécanique du Hasard. — *Bulletin de l'Association scientifique*, 1879, 154, Tresca. — *Notice* sur les objets exposés par la Société des charbonnages de Mariemont à Vienne, Mons, 1873, 6.

points qui deviennent des foyers de production, avec des puits moins nombreux que par le passé, et armés de machines plus puissantes, réclame le secours de ce moyen de transport.

Il procure, en outre, une réelle économie quand on opère sur de grandes masses et des distances importantes; réserve dont on ne s'est pas toujours assez préoccupé, et dont l'oubli a occasionné quelques mécomptes.

Il assure plus de régularité, et permet de donner, en cas de nécessité, un coup de collier pour rétablir le service, après un de ces arrêts du trait dans le puits d'extraction, qui se répercutent dans toute la mine, avec le herschage ordinaire, en exigeant un temps assez long pour remettre en mouvement les trains immobilisés dans toutes les gares.

Ajoutons encore que, dans les cas où une grande concentration doit s'effectuer au jour sur certains points, la nature accidentée de la superficie peut rendre quelquefois plus avantageux de pratiquer souterrainement une artère rectiligne, desservie activement par une traction mécanique.

661 — *Exploitations en vallée.* — Quant aux *exploitations en vallée* qui nécessitent le remorquage des produits sur des rampes, contrairement au principe ordinaire, d'après lequel le roulage fonctionne, autant que possible, en descendant jusqu'au puits d'extraction, elles constituent, en principe, une solution défectueuse. Cependant ce dispositif peut, dans certains cas, se trouver parfaitement justifié par diverses circonstances telles que les suivantes.

La marche descendante est motivée par la présence du grisou, qui doit faire éviter des travaux en cloche, si l'on ne peut pas en vider le sommet par une circulation ascensionnelle.

Il en sera de même pour les gîtes qui plongent sous l'océan, et avec lesquels il ne saurait être question de rejoindre le pied de l'aval-pendage par un puits, dont l'emplacement tomberait en pleine mer, ni par un travers-bancs, partant d'un puits foncé sur le rivage, le développement de cette galerie devenant excessif, en raison de la faiblesse du pendage.

Les couches peu inclinées sont extrêmement fréquentes en An-

gleterre, et le motif précédent conduit à préférer aux interminables travers-bancs, qui devraient relier l'aval-pendage à des accrochages très rapprochés les uns des autres dans le puits, une traction en rampe, qui remonte les produits au point d'intersection du gisement par le puits d'extraction.

Dans certaines mines exposées à des invasions d'eau subites, au moment des crues, on trouve commode (¹) de créer, au moyen d'exploitations en vallée, de grands réservoirs que l'on abandonne alors

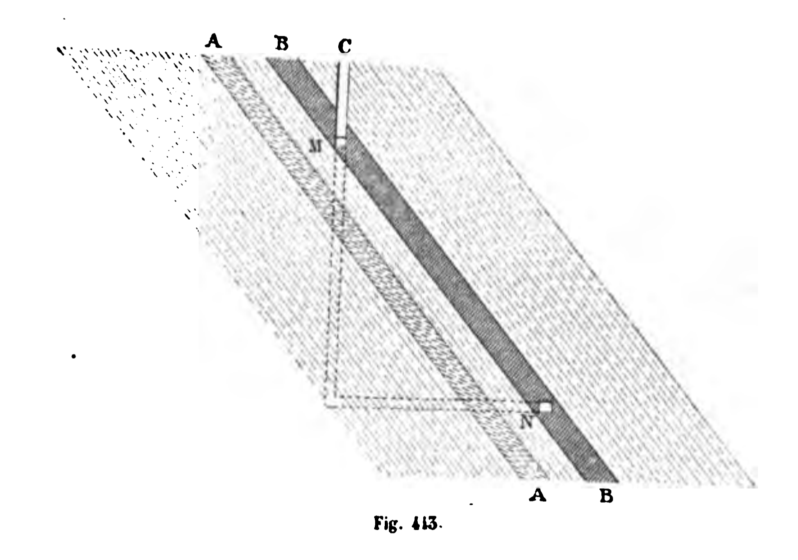


Fig. 443.

temporairement, et qui dégagent le reste des travaux de l'affluence des eaux.

Il peut devenir impossible, en raison de l'existence de couches très aquifères A dans le mur du gisement B (fig. 443), d'approfondir le puits C au-dessous du point M, où il rencontre la couche, en vue d'établir plus bas une recette, et un travers-bancs rejoignant le gîte en N, pour desservir toute la zone MN. La double traversée de la couche aquifère par le puits et la galerie pourrait, dans de telles conditions, occasionner des dépenses, et même des dangers, qui feront préférer l'établissement de moyens mécaniques pour remonter les produits le long de NM.

(¹) Comme à Gréasque.

Dans certains dénoyages de couches très inflammables, on ne baisse les eaux qu'à la demande du développement des travaux, et par suite, d'une manière successive, qui exclut l'hypothèse du roulage descendant jusqu'à une voie de fond, laquelle ne sera accessible qu'au dernier moment.

Quelquefois enfin, l'on se mettra en vallée, uniquement pour gagner du temps, en présence de certaines circonstances commerciales, de manière à pouvoir commencer de suite à exploiter, sans attendre la terminaison du réavalement d'un puits, suivi du percement d'un travers-bancs.

§ 2

SYSTÈME CORDE-TÊTE ET CORDE-QUEUE

662 — *Câble-tête et câble-queue.* — Les divers modes employés pour la traction mécanique peuvent se rattacher à quatre types distincts : 1° le *système corde-tête et corde-queue*, 2° la *chaîne sans fin*, 3° la *chaîne traînante*, 4° la *chaîne flottante*.

Le premier de ces systèmes (tail-rope system) emploie, en palier, deux câbles distincts, qui sont attachés en tête et en queue du train. Suivant que l'on agira sur l'un ou sur l'autre, on déterminera le mouvement vers le puits, ou en sens contraire (fig. **444**). Dans le premier cas, le train est tiré par le *câble-tête*, et il traîne derrière lui le *câble-queue*. Quand il doit au contraire s'éloigner du puits, il obéit au câble-queue, et entraîne le câble-tête. La longueur de ce dernier sera donc égale à la distance qui sépare le puits de l'extrémité du trajet, pour permettre au train de s'éloigner jusque-là. Celle du câble-queue devra être double, afin que, partant de la machine, il aille passer sur la *poulie de retour* placée au point extrême, et vienne rejoindre le train, en lui permettant d'arriver jusqu'au puits. Le brin *direct* du câble-queue roule à terre sur les mêmes rouleaux que le câble-tête. Le *brin de retour*, après avoir passé à la poulie de retour, est supporté par des rouleaux fixés au plafond de la galerie.

La machine présente deux tambours distincts, appelés *tambour-tête* et *tambour-queue*, sur lesquels s'enroulent les câbles correspondants. Chacun de ces tambours peut être actionné par un pignon moteur, ou ralenti par un frein, selon que le mécanicien engage l'un ou l'autre. Il y aura toujours, à chaque instant, l'un des deux tambours commandé par son engrenage, tandis que, sur l'autre, on applique légèrement le frein, pour communiquer de la tension à son câble. Les rôles s'intervertissent ensuite, lorsqu'il

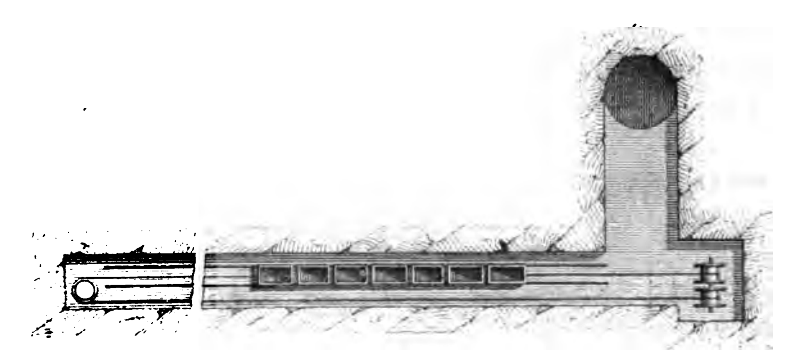


Fig. 411. Système corde-tête et corde-queue.

s'agit de renverser le fonctionnement des câbles. A cet effet, un embrayage met alternativement chacun des deux pignons en rapport avec une roue motrice, qui tourne toujours en même sens. Cet organe de changement de marche consiste ordinairement en un palier mobile, destiné à rapprocher le pignon de la roue dentée, de manière à les faire engrener, ou, inversement, à les séparer l'un de l'autre.

663 — *Recette d'arrivée.* — L'arrivée au puits comporte deux dispositifs distincts. Dans le premier, on établit le moteur au delà de la recette, ce qui lui permet de tirer sans difficulté le train jusqu'à ce point, avec son câble-tête.

Dans le second système, la machine se trouve placée en deçà du puits. On dispose alors, à une petite distance, un butoir qui déclanche l'attelage, au moment où il est heurté par le train, lequel abandonne ainsi son câble-tête. Celui-ci s'arrête alors, en même temps que la

machine, dont le mécanicien amortit le mouvement. Quant aux wagons, ils continuent par la vitesse acquise, aidée d'une légère pente que l'on a ménagée vers le puits. On procède alors à la décomposition du train. Les wagons pleins sont élevés dans les cages. On réunit, d'autre part, les chariots vides qui reviennent de la surface, et l'on en reforme un nouveau train. Ce convoi est attaché au câble-queue, qui a été traîné jusqu'à la recette. Le mécanicien, mettant son moteur à la marche en arrière, tire doucement le train jusqu'à la chambre de la machine, où se retrouve le câble-tête qu'on lui rattelle. Puis le machiniste engage la vapeur à fond, et le convoi part, tiré par le câble-queue, en déroulant derrière lui son câble-tête.

664 — *Recette de départ.* — Pour l'extrémité opposée, on peut employer des dispositifs assez variés. La figure 445 représente l'un

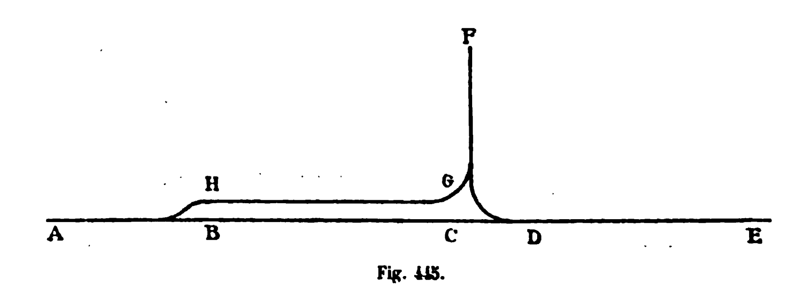


Fig. 445.

des plus simples. Le train vide arrive à grande vitesse sur la voie A, remorqué par le câble-queue. Guidé par des signaux analogues à ceux que nous décrirons plus tard pour l'extraction verticale, le mécanicien amortit le mouvement pour se rendre maître de son train, et il l'arrête doucement sur le garage BC. Les receveurs détachent le câble-tête et le câble-queue, dont les extrémités restent en B et C. A l'aide d'une légère pente, on fait couler le train de BC en DE. On l'y décompose; après quoi les herscheurs emmènent, par la galerie F, les wagons vides jusque dans les tailles. Pendant ce temps, on s'occupe de conduire au puits le train chargé, qui a été formé, pendant le voyage précédent, sur le garage GH, avec les

chariots pleins amenés des tailles par les mêmes rouleurs. Il suffit, pour cela, de déplacer de B en H et de C en G les extrémités des deux câbles, et de les atteler au nouveau convoi. Le signal étant donné au mécanicien, celui-ci remmène en grande vitesse, à l'aide du câble-tête, le train, qui remorque derrière lui le câble-queue.

665 — *Embranchements.* — Le système du *tail-rope* se prête à l'établissement des embranchements.

Nous distinguerons, au point multiple, le tronc commun M, qui vient du puits (soit directement, soit par l'intermédiaire d'autres bifurcations, ce qui est indifférent) et les deux branches, que j'appellerai P et Q. Sur le tronc commun M, se trouve un câble-tête *m*. Dans chacune des deux branches, P ou Q, règne un câble-queue *p* ou *q*, avec ses deux brins : direct et de retour. L'un de ces câbles : *p* par exemple, est adhérent au train ; *q* en est actuellement détaché. Si l'on suppose le train vide, cet état de choses indique que le train était parti en charge, de l'extrémité de la travée P. Il a été mené au puits par le câble-tête *m*, en attirant *p* derrière lui. Puis il revient à vide, actionné par *p*, et traînant *m* à la remorque. En ce moment, il s'agit, au lieu de continuer le mouvement, qui le ramènerait au même point de départ, d'engager ce train sur la voie Q. Le mécanicien ayant arrêté le convoi à l'embranchement, les receveurs détachent du premier wagon le brin direct du câble-queue *p*, et, en même temps, ils dévissent, pour les séparer l'un de l'autre, les deux parties de son brin de retour, dont l'emmanchement se trouve précisément en ce point, puisque toutes les dimensions sont rigoureusement déterminées. Ces agents rattachent au tronçon du brin de retour, qui se trouve sur le tronc commun M, le brin de retour du câble-queue *q*, et attellent au train le brin direct de ce câble-queue. On donne alors le signal au mécanicien, après avoir fait l'aiguille, et le train s'engage sur la voie Q, qu'il parcourt jusqu'à son extrémité.

On peut éviter cette perte de temps en exécutant les manœuvres de l'embranchement, tandis que le train se trouve au puits, de manière à utiliser, dans ce but, la durée employée aux opérations de la

recette. La manœuvre reste d'ailleurs la même, et les tronçons du câble seuls diffèrent; c'est-à-dire que l'on dévisse les assemblages, de manière à couper chacun des brins : direct et de retour, du câble-queue, en détachant les tronçons de ces brins qui se trouvent dans le tronc commun M, de ceux qui règnent sur le trajet P, et les rattachant à ceux qui se trouvent dans la travée Q.

Pour éviter tout déplacement des câbles, puisque les ajustages exigent une rigueur absolue, on a soin, avant de désassembler les tronçons, de les pincer des deux côtés de l'assemblage, dans des étaux disposés à cet effet. En outre, pour prévoir le cas où un tel déplacement se serait effectué, malgré les précautions prises, les receveurs ont à leur disposition un treuil, avec lequel ils peuvent agir de force sur le câble qui s'est éloigné, pour le remettre au point.

666 — *Courbes.* — Le système du tail-rope se prête également aux courbes.

On dispose alors (fig. 446) des contre-rails pour empêcher le déraillement, et, en outre, des rouleaux rapprochés, sur lesquels

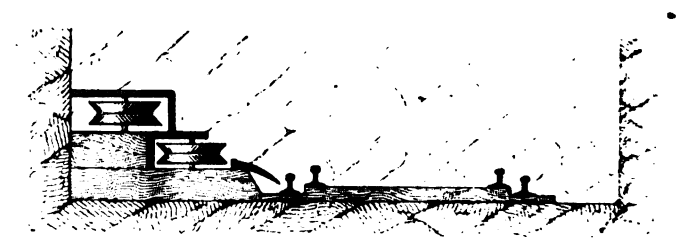


Fig. 436. Voie du tail-rope dans les courbes.

passent le câble-tête et le brin direct du câble-queue, ainsi qu'une tôle destinée à faciliter l'arrivée du câble dans la gorge du rouleau, au passage du train. Quant au brin de retour du câble-queue, rien n'oblige de le plier en courbe, comme les précédents, qui, étant attachés au train, doivent passer partout où passe celui-ci. On peut donc laisser ce brin de retour disposé en ligne brisée, suivant les deux tangentes extrêmes de la courbe, à l'aide de boyaux pratiqués

dans la roche pour le recevoir, et d'une poulie de renvoi placée à leur intersection.

667 — *Variantes.* — Le tail-rope, tel que nous venons de le décrire, est à simple effet. La galerie ne présente alors qu'une seule voie, qui est parcourue alternativement, dans les deux sens, par un seul train à la fois.

On a construit des systèmes corde-queue à double effet. Il existe, dans ce cas, deux voies, et tout devient absolument symétrique. On dispose un câble-tête pour chacun des deux trains, mais un seul câble-queue, dont les deux brins se réunissent par la poulie de retour placée à l'extrémité. Le moteur tirant sur le premier câble-tête, le brin du câble-queue adhérent à ce premier train le suit dans son mouvement, et traîne le second train, qui remorque lui-même son câble-tête. Puis les rôles s'intervertissent pour la manœuvre suivante.

On obtient par là une activité double, mais les galeries sont plus larges et le service plus compliqué.

668 — Le tail-rope, avec tous les organes précédents, convient à la traction en palier. Sur les rampes, le câble-queue devient inutile, la pesanteur suffisant pour ramener le train en arrière.

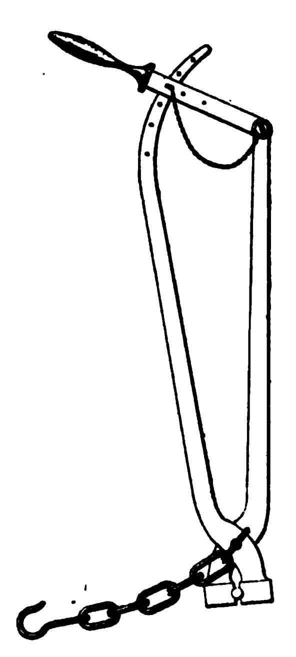
Si l'on veut alors réaliser une très grande activité, on dispose plusieurs voies côte à côte, et, sur chacune d'elles, un train, un câble-tête. Chacun de ces derniers s'enroule sur un tambour spécial, au sommet du plan [1]. Un moteur unique fonctionne sans discontinuité. Il actionne successivement les divers tambours, que l'on embraye ou désembraye à volonté. De cette manière, il y a toujours un train en marche ascendante, et, pendant ce temps, l'autre ou les autres redescendent la pente, ou sont l'objet des manœuvres de formation ou de décomposition sur les garages extrêmes.

[1] A Drifton (Pennsylvanie), on en voit jusqu'à trois (Henry, *Bull. min.*, 2ᵉ, VII, 601).

§ 3

CORDE SANS FIN

669 — Concevons que l'on coupe, après un demi-tour d'enroulement, le câble-tête et le câble-queue, et que l'on ressoude leurs extrémités, de manière à constituer une corde sans fin. Nous admettrons qu'elle ait avec la poulie motrice une adhérence suffisante, et nous avons déjà indiqué (n° 639) les divers artifices que l'on peut employer pour la réaliser. Dès lors, il suffira de tourner cette poulie, dans un sens ou dans l'autre, pour entraîner le convoi suivant les deux directions opposées. Tel est le système de traction mécanique de la *corde sans fin* (1).


Fig. 447. Tenaille d'attelage.

Dans ces conditions, rien n'empêche d'atteler plusieurs trains à la fois en divers points du câble. On sera complètement assuré contre toute collision des convois marchant en même sens, puisqu'ils conservent une distance constante, mesurée par le tronçon de câble qui les sépare. Seulement, il devient nécessaire d'établir une seconde voie, comme dans le tail-rope à double effet, pour les trains inverses, afin que la rencontre puisse s'opérer en des points quelconques, sans aucun assujettissement pour le service. La poulie de retour, au lieu d'être verticale comme dans le tail-rope, ou comme dans le système de corde sans fin à une seule voie, sera horizontale, et inscrite entre les axes des deux voies.

L'attelage du premier wagon se fait à l'aide d'une tenaille

(1) Il figure, en dehors des travaux souterrains, pour la traction des tramways dans certaines villes.

(fig. 447), serrée par un conducteur, qui est placé sur le wagon de tête. Si le câble disparaît sous terre, pour un passage à niveau, cet agent desserre la tenaille, laisse filer le train par la vitesse acquise, puis ressaisit le câble avec un crochet, et serre de nouveau son étau.

Un conducteur d'arrière est muni d'une semblable tenaille, afin de pouvoir, au besoin, pincer le câble aux descentes sur lesquelles la pesanteur tendrait à *emballer* le train avec une vitesse désordonnée, différente de celle de la traction. Il communique avec le chef de train par des signaux optiques, à l'aide de lanternes de couleur. Tous les deux se trouvent en relation avec le machiniste, au moyen d'une tringle métallique qui règne le long de la voie, et transmet nettement le son des coups frappés en passant par les conducteurs.

§ 4

CHAINE TRAINANTE

670 — Imaginons que, dans le système de la double corde sans fin, on subdivise indéfiniment les trains qui sont attelés en divers points de chacune des deux cordes, et qu'en les décomposant en chariots indépendants, on espace le plus également possible ces véhicules sur tout le développement des câbles. Nous obtiendrons par là le système du *câble traînant*, ou de la *chaîne traînante*, qui se rencontre dans le South-Wales.

Il est clair qu'en raison de cette multiplication indéfinie des points d'attelage, il faut renoncer, d'une part, aux arrêts distincts pour l'embarquement ou la réception des véhicules aux gares de départ et d'arrivée, et, d'autre part, aux grandes vitesses, qui n'auraient pas le temps de se développer et de s'amortir, sur des longueurs ainsi réduites outre mesure. L'allure qui s'impose à un tel système est donc un mouvement continu et lent, et il reste à subordonner à cette nécessité fondamentale les autres circonstances.

671 — On continue à atteler les wagons au câble, comme dans

le système de la corde sans fin. Seulement, au lieu de la tenaille, on emploie une chaînette, prestement enroulée autour du câble par le receveur, ou déroulée de même par lui, en profitant pour cela de la lenteur du passage. Les embarquements s'effectuent, aux diverses costresses, sur des plates-formes de la voie, si elle est très peu inclinée, ou, dans le cas contraire, à l'aide de ponts volants équilibrés (f. 448), que l'on a le temps d'abaisser pour faire la manœuvre, et de relever pour permettre le passage des wagonnets suivants, qui arrivent de l'aval-pendage.

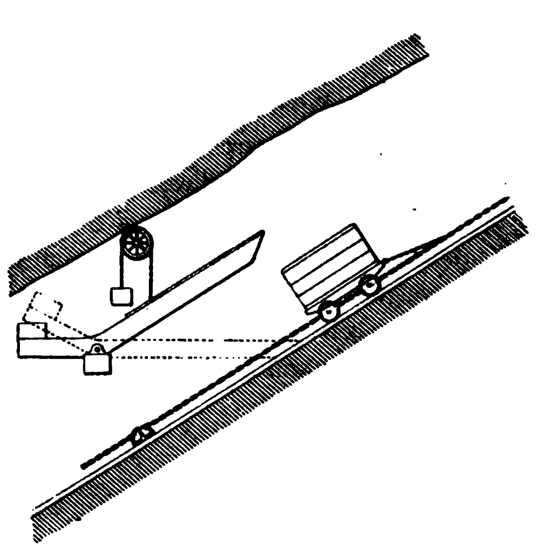


Fig. 448. Chaîne traînante.

§ 5

CHAINE FLOTTANTE

672 — *Chaîne et poulies.* — Dans le système de la chaine flottante, on conserve à peu près le dispositif précédent, seulement on se débarrasse des rouleaux qui sont coûteux, embarrassants et difficiles à maintenir en bon état de fonctionnement. On fait alors reposer la chaine sur les wagonnets eux-mêmes (fig. 449). Ces derniers doivent présenter, à cet effet, un espacement assez restreint pour que la chaine, en se courbant sous l'influence de la pesanteur, n'arrive pas à traîner sur le sol. Cette distance varie, suivant l'importance relative du trafic et du trajet, entre 10 et 35 mètres.

Il n'existe plus alors d'attelage proprement dit. L'union du chariot avec la chaîne s'obtient directement d'un manière très simple. Celle-ci est à maillons oblongs, situés dans des plans alternativement rectangulaires. Le bord supérieur du wagonnet porte une fourchette verticale, dans laquelle on engage le plan de l'un des chaînons. Dès lors, le suivant vient se mettre en travers, et, se trouvant dans l'impossibilité de passer à travers la fourche, sert, par cela seul, de remorqueur. Quelquefois même, la simple adhérence suffit, quoique avec moins de netteté. On prend pour cela

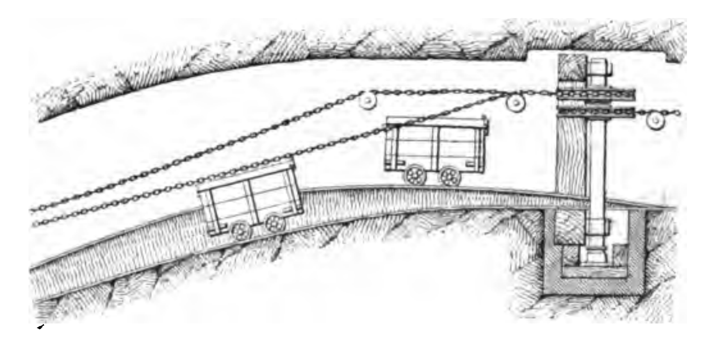


Fig. 449. Chaîne flottante.

des chaînes lourdes, qui pèsent environ 8 kilogrammes par mètre courant.

673 — La poulie motrice et la poulie de retour sont *à empreintes*, pour que leur circonférence puisse recevoir une chaîne ainsi constituée. La jante est refouillée suivant une rainure médiane, où s'implanteront, par la tranche, ceux des maillons qui se trouvent placés dans le plan de la poulie. Le pourtour, au lieu d'être circulaire, affecte la forme polygonale, et les divers côtés présentent la longueur du chaînon.

Cependant il est nécessaire de tenir compte de la variation que subit progressivement cet élément. L'ovale tend à s'aplatir, et, par suite, à s'allonger, sous l'influence de la traction. Il est donc bon que le côté du polygone puisse éprouver, de son côté, la même

modification. C'est ce que l'on réalise avec les poulies *à expansion*. La jante est alors formée de pièces distinctes, dont chacune présente la longueur minimum du chaînon. Elles peuvent, au moyen de vis, s'éloigner plus ou moins du centre. Dès lors, le polygone circonscrit à leur ensemble s'amplifie homothétiquement, pour continuer à recevoir les chaînons, malgré la variation qu'ils subissent.

674 — Cette même circonstance exerce peu à peu son influence sur l'ensemble de la chaîne pour en modifier la longueur, et, par suite, la tension. On introduit, pour y remédier, un *chariot tenseur*. Il porte l'axe vertical de la poulie de retour, et se trouve sollicité à s'éloigner de la poulie motrice, par un poids assez lourd, suspendu verticalement, dans une fosse, à un bout de chaîne passant sur une poulie verticale. De cette manière, le chariot se déplace en raison de l'allongement, de telle sorte que la tension de la chaîne sur la poulie de retour reste constante, et égale sensiblement à la moitié du contre-poids.

675 — *Voie*. — La voie est nécessairement rectiligne, ou, du moins, située dans un plan vertical. Si on lui donnait une courbure sensible dans le sens horizontal, la force centripète imprimée par la chaîne sur le sommet des wagons, en raison de la tension qu'elle subit, tendrait à faire verser les chariots dans la concavité du profil.

Quant au sens vertical, la même difficulté n'existe pas, et la voie peut s'infléchir au besoin. Si nous traçons (fig. 450) entre les points A et B, qu'il s'agit de réunir par une traction mécanique, la courbe, bien connue, qui porte le nom de *chaînette*, d'après les conditions extrêmes fournies par les éléments statiques de la question, la chaîne restera dans les fourchettes des wagonnets, si l'ensemble de ces dernières dessine une courbe, arbitraire du reste, mais située *au-dessus* de AB. Elle les abandonnera pour rester

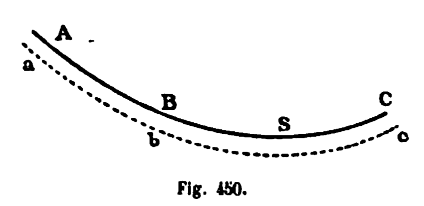


Fig. 450.

suspendue en l'air suivant AB, si le profil formé par les fourchettes se dérobe au-dessous de cette chaînette, suivant une ligne quelconque. Si donc on trace une courbe *ab* parallèle à la chaînette, en portant sur toutes ses normales, du côté de sa convexité, une longueur égale à la hauteur de la fourchette au-dessus du plan des rails, la voie pourra présenter un profil indéterminé au-dessus de cette ligne, mais ne devra pas s'abaisser au-dessous. Il faudra combler par des remblais, jusqu'à ce niveau, les dépressions que le terrain présenterait dans l'intervalle, ou établir des *rouleaux abaisseurs*, susceptibles de tourner sur des axes transversaux, situés au-dessus de la voie, et obligeant la chaîne à s'approcher suffisamment des rails. Cependant, il sera préférable d'éviter, autant que possible, cette dernière complication.

Il peut parfaitement arriver que les conditions statiques du problème déterminent, d'après l'équation connue de la chaînette, non plus un arc AB, situé entièrement d'un même côté de son sommet S, mais un segment tel que AC, comprenant ce sommet, et présentant, par suite, ainsi que la courbe dérivée *ac*, une *contre-pente*.

676 — *Embranchements.* — Comme la configuration topographique se prête rarement à ce que la totalité du profil puisse être renfermée dans un même plan vertical, on tourne cette difficulté en donnant à la projection horizontale une forme polygonale, dont les côtés devront être aussi longs et aussi peu multipliés que possible. Chacun d'eux deviendra le siège d'une chaîne flottante distincte, et il suffira de les relier ensemble d'une manière suffisamment simple.

Imaginons, à cet effet, au sommet P du polygone (fig. 451), un axe vertical portant deux poulies superposées, qui présentent un diamètre d'enroulement exactement égal à l'intervalle des axes des deux voies. Chacune d'elles sera embrassée par la chaîne flottante de l'une des travées. Dès lors, celle qui est située du côté du moteur actionne sa propre poulie de retour, et, par suite, l'axe et la seconde poulie, qui, à son tour, entraîne la seconde chaîne.

677 — Pour faire franchir ce passage aux véhicules, on raccorde les deux alignements de chacune des voies ferrées AB et CD,

ab et *cd*, par des congés BC et *bc*, en donnant à ces courbes une certaine pente dans le sens de la circulation, c'est-à-dire dans deux directions respectivement opposées : de B vers C, et de *b* vers *c*.

En B se tient un receveur, qui, au moment où chaque wagon lui arrive, soulève la chaîne pour la dégager de la fourchette, et imprime au wagon une impulsion en raison de laquelle ce véhicule, aidé de la pente, peut franchir seul la courbe.

En C se trouve un second receveur, qui se guide pour sa manœu-

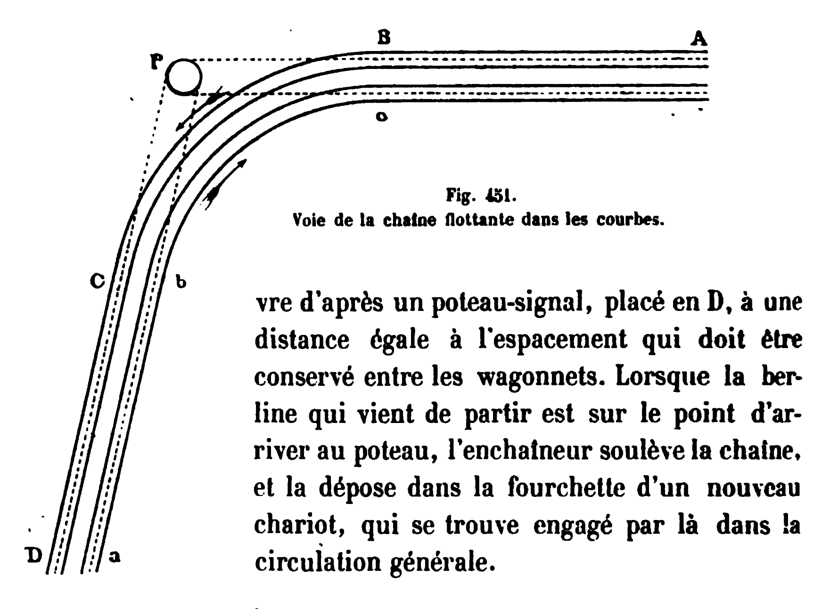


Fig. 451.
Voie de la chaîne flottante dans les courbes.

vre d'après un poteau-signal, placé en D, à une distance égale à l'espacement qui doit être conservé entre les wagonnets. Lorsque la berline qui vient de partir est sur le point d'arriver au poteau, l'enchaîneur soulève la chaîne, et la dépose dans la fourchette d'un nouveau chariot, qui se trouve engagé par là dans la circulation générale.

678 — La question des embranchements ne présente, d'après cela, aucune difficulté. Il suffit, au point de croisement du tronc commun et des deux branches, de monter sur un même axe trois poulies, au lieu de deux, en disposant, de part et d'autre, entre le tronc et chacune des branches, les congés de raccordement dont il vient d'être question. Les receveurs des deux branches dégageront les wagons pleins qui leur arrivent, et l'enchaîneur du tronc commun les engagera tous dans la circulation qui conduit au point de concentration.

On préfère ordinairement éviter d'accumuler plusieurs poulies sur un même axe. Chacune a son arbre particulier, implanté dans

une crapaudine distincte, et tous communiquent entre eux par des engrenages.

679 — *Moteur.* — En ce qui concerne la mise en mouvement, trois cas peuvent se présenter.

Le premier, et le plus simple, est celui d'une machine motrice spéciale, actionnant directement la première poulie. C'est le cas de la *chaîne flottante motrice.* On l'emploie pour gravir les rampes, ou pour traîner en palier.

680 — Le second cas est celui de la *chaîne flottante en descente* [1]. Il est destiné à amener les charges, d'un point supérieur à un niveau inférieur. Si la dénivellation, rapportée au déplacement horizontal, représente, de la part de la gravité, un travail suffisant pour vaincre les résistances passives, il sera inutile d'installer un moteur spécial. Le système devient alors l'équivalent d'un vaste plan automoteur, et la machine motrice y doit être remplacée par un frein, destiné à maîtriser les excédents de travail moteur.

Dans ce cas, on peut supprimer, aux sommets du polygone, la solidarité des diverses travées. Elle était nécessaire, quand il s'agissait de transmettre, d'un bout à l'autre, l'action motrice de la vapeur, développée à une extrémité; mais, maintenant, l'agent moteur, qui est la pesanteur, se trouve uniformément répandu sur tout le parcours, et toute transmission devient, à cet égard, inutile. Ceci suppose cependant, bien entendu, que chaque travée conserve, pour son propre compte, une pente automotrice suffisante.

Chaque chaîne constitue alors un service particulier. Les receveurs placés aux sommets successifs du polygone, communiquent entre eux à l'aide de drapeaux pendant le jour, et de lanternes de couleur pendant la nuit. Si l'encombrement tend à se produire sur un

[1] On en trouve un très bel exemple aux mines de fer du Canigou, pour lesquelles une chaîne en descente relie, à sept kilomètres de distance, les découverts de Filhols à la gare de Prades (Perrin, *CRM*, 1880, 145).

Je citerai également la chaîne flottante d'Aïn-Sedma (département de Constantine), qui rachète une dénivellation de 700 mètres, sur une longueur totale de 7160 mètres (Brüll, *Portefeuille économique* des machines et du matériel d'Oppermann, octobre et novembre 1881, janvier 1882. — Malissart, *CRM*, 1880, 58).

point, on reporte de proche en proche un commandement d'arrêt. Si, inversement, une recette vient à manquer de véhicules pour la conservation des distances, l'enchaîneur, en engageant son frein, arrête momentanément le mouvement sur sa travée.

681 — La troisième combinaison est celle de la *chaîne flottante d'équilibre*. On s'y passe, tout à la fois, du moteur du premier cas, et du frein du second; ou, du moins, on réduit à un rôle subsidiaire ce dernier organe, dont la présence reste pourtant nécessaire.

Le principe consiste à mettre en relation deux chaînes flottantes, l'une en rampe, l'autre en descente. Elles sont destinées à concentrer, à un niveau intermédiaire, les charbons de l'amont-pendage et de l'exploitation en vallée. Supposons, pour un instant, les deux productions égales, les poids morts s'équilibreront mutuellement, et, si nous faisons abstraction des résistances passives, dont il sera aisé de tenir compte dans un projet effectif, le travail de la gravité développé dans la descente des charbons supérieurs, pourra être affecté à la remonte du combustible de l'aval-pendage, sur une hauteur égale [1]. Si les hauteurs à racheter sont différentes, les poids en mouvement devront se trouver dans le rapport inverse, et, comme le poids mort reste proportionnel au chargement utile, ce même rapport devra exister entre les productions elles-mêmes. Il suffira donc de régler en conséquence l'activité des deux étages, et, pour cela, d'y répartir convenablement le personnel.

682 — La chaîne flottante d'équilibre peut, de même, être employée [2], non plus pour opposer l'une à l'autre les circulations ascendante et descendante de deux étages, situés de part et d'autre de la voie de roulage, mais pour effectuer, sans moteur spécial, la traction, sur ce niveau, du tonnage que l'on y descend de l'amont-pendage. On dispose alors, pour vaincre les résistances passives développées en palier, en même temps que sur le plan incliné, du travail de la pesanteur fourni par la descente du combustible. Il

[1] On retrouve ici un second exemple des *chutes de charbon*, envisagées comme un moteur spécial, dans la théorie des plans bisautomoteurs (n° 657).

[2] *Rev. univ. d. m. et. u.*, 2°, III, 210.

est facile de formuler le rapport à observer, à cet égard, entre les deux mouvements.

Désignons, pour cela, par P le chargement d'un wagon et par p son poids mort. Appelons ϖ le poids de la longueur de chaîne qui lui correspond, d'après l'espacement adopté, et m le coefficient de traction qui a été déterminé par la théorie des pentes (n°s 599 et 600). Le travail développé par la descente du charbon sur la hauteur verticale h est exprimé par Ph, et il n'y a pas lieu de tenir compte du poids mort, car il se trouve équilibré par celui d'un wagon vide qui remonte en même temps la rampe. Ce travail disponible doit être affecté à vaincre, sur une certaine longueur horizontale l, les résistances développées par la traction du poids total, formé d'un chariot plein $P + p$, d'un chariot vide p, et de deux brins de chaîne 2ϖ. On a donc l'égalité :

$$Ph = ml\ (P + 2p + 2\varpi),$$

qui servira à déterminer l. En général, un abaissement vertical donné peut suffire à entretenir le mouvement sur un palier 20 fois plus long [1].

§ 6

COMPARAISON DES DIVERS SYSTÈMES

683 — Le tail-rope et la corde sans fin admettent les grandes vitesses : 10 à 20 kilomètres à l'heure. Cette propriété est importante, afin de permettre de ne pas faire durer le trajet sensiblement plus que le temps nécessaire pour former et décomposer les trains, dont le mouvement va se produire, ou vient d'avoir lieu. La chaîne flottante marche, au contraire, avec une lenteur caractéristique, de 1 à 6 kilomètres.

[1] Tous ces types de l'emploi de la chaîne flottante se voient aux mines de Mariemont, dont le magnifique réseau, à la fois extérieur (7930 mètres) et intérieur (9100 mètres), et son double mouvement à plein et à vide, rappellent l'idée de la double circulation du sang dans les systèmes artériel et veineux d'un être organisé.

Dans les mines de Burnley il existe, de même, 120 kilomètres de chaîne flottante.

Il s'ensuit que les deux premiers systèmes peuvent suffire sur de grandes distances, pour une production importante, avec un matériel relativement restreint, tandis que le nombre des véhicules nécessaires croît proportionnellement à la longueur de la chaîne flottante.

Les deux premiers modes admettent les courbes, pourvu que le rayon ne descende pas au-dessous d'une limite de 20 mètres, qu'il serait dangereux de dépasser à cause de la vitesse. La chaîne flottante n'admet, en projection horizontale, que la ligne droite ou la ligne brisée.

Une seule voie suffit pour le tail-rope à simple effet, et la corde sans fin. Deux voies sont indispensables pour la chaîne flottante. L'adjonction de cette seconde voie aux deux autres systèmes leur communique, à la vérité, une tout autre puissance pour les grands trafics.

684 — A côté de ces avantages, il faut mettre en balance les inconvénients suivants.

La corde-queue et la corde sans fin exigent l'emploi des rouleaux. C'est une complication, une dépense, une cause d'usure pour le câble. Au moins faut-il avoir soin d'arrêter le mouvement de la corde sans fin, dans les intervalles de temps où elle ne remorque aucun train. La chaîne flottante, au contraire, repose sur les wagonnets, sans prendre aucun déplacement relatif par rapport à ses points d'appui.

Les deux premiers systèmes ont besoin d'une voie particulièrement soignée, pour que le câble puisse y frotter sans trop d'inconvénients. L'état du ballast peut rester quelconque avec l'emploi de la chaîne flottante.

Le tail-rope amène périodiquement aux gares un énorme encombrement, les trains comprenant souvent de 30 à 60 wagons. Avec la chaîne flottante, on répartit le trafic sur les gares extrêmes, d'une manière uniforme. Le système de la corde sans fin forme un intermédiaire, mais il se rapproche beaucoup plus, sous ce rapport, du câble-queue. Le câble traînant, au contraire, présente plus d'analogie avec la chaîne flottante.

Le système corde-queue donnant des coups de collier à grande vitesse, exige une machine beaucoup plus puissante. On en a con struit de 150 chevaux. La chaîne flottante, qui répartit sur un temps plus long le même travail, en le réduisant même, dans une certaine proportion, par la modération de l'allure, peut admettre, pour son moteur, un nombre de chevaux sensiblement moindre.

Le système de la chaîne flottante est soustrait par sa lenteur aux chances d'accidents graves auxquels on est exposé avec le tail-rope.

685 — La discussion précédente réunit, comme on le voit, par de grandes analogies, le câble-queue et la corde sans fin, en les séparant de la chaîne flottante. Mais celle-ci se rapproche, sous un dernier rapport, du système câble-queue, par opposition à la corde sans fin. Cette dernière ne comporte, en effet, que le trajet unique sans embranchements, à moins que l'on ne consente, avant de changer de ligne, à écouler préalablement tous les trains engagés dans la partie de la voie que l'on veut abandonner momentanément. Les autres admettent les bifurcations : à l'état permanent, avec la chaîne flottante, et au prix, pour le tail-rope, de manœuvres qui n'occasionneront pas de perte de temps, si on les effectue pendant la durée des opérations des gares extrêmes.

Il est, de même, une propriété commune à la chaîne flottante et à la chaîne sans fin, qui les sépare du câble-queue. Avec ce dernier système, en effet, il faut une longueur de câble triple de la distance des gares extrêmes, tandis qu'elle n'est que double pour les deux autres.

686 — Le prix de revient de la tonne kilométrique varie de 0 fr. 10 à 0 fr. 14 pour le tail-rope, et de 0 fr. 07 à 0 fr. 15 pour la chaîne flottante.

On voit par là, qu'en palier, ces chiffres ne diffèrent pas notablement de ceux que nous avons indiqués pour l'emploi des chevaux (n° 105), et que la comparaison des deux systèmes, en ce qui concerne ce côté de la question, devra être, dans chaque cas, étudiée de très près, en entrant attentivement dans les détails. Mais, sur les rampes, la question change de face, et l'hésitation n'est plus possi-

ble. C'est là, véritablement, que l'emploi des tractions mécaniques joue un rôle décisif dans les transports souterrains.

ARTICLES		UNITÉS	SYSTÈMES DE TRACTION MÉCANIQUE			
			CORDE-QUEUE	CORDE SANS FIN	CÂBLE TRAINANT	CHAINE FLOTTANTE
TRAFIC	Durée de la journée	Heures et m.	12.00	9.45	10.52	8.40
	Transport par journée effective	Tonnes	483	431	407	328
	Transport en 12 heures	Tonnes	483	535	450	458
CHARIOTS	Chargement d'un chariot	Kilogr.	427	430	279	281
	Nombre de chariots par train	»	59	68	25	15
	Nombre nécessaire à la manœuvre	»	245	203	260	269
	Nombre total employé	»	432	450	400	»
VITESSE	Chariots pleins	Kilomèt.	13,61	7,30	1,78	3,34
	Chariots vides	à l'heure	17,09	7,30	1,78	3,34
TRAVAIL	Moteur	Proportion	13	12	»	»
	Câble	en	45	47	»	»
	Véhicules	centièmes	42	41	»	»
	Travail total absolu	Chevaux	114	38	30	20
VOIE	Longueur avec embranchements	Mètres	2 124	956	1 287	1 643
	Parcours moyen d'un chariot	Mètres	1 940	956	777	1 270
	Pente (par mètre)	Millimèt.	4,7	20,8	27,8	16,9
MAIN-D'ŒUVRE	Nombre d'ouvriers	»	11	11	14	6
	Salaire moyen	Francs	3,16	2,97	2,71	2,73
PRIX D'ÉTABLISSEMENT	Kilomètre de voie	Id.	11 308	12 902	13 983	14 821
	Mécanisme	Id.	27 863	14 060	24 522	6 948
PRIX DE REVIENT DE LA TONNE KILOMÉTRIQUE	Chaîne	Francs	0,0177	0,0160	0,0162	0,0052
	Chariots	Id.	0,0073	0,0094	0,0198	0,0111
	Graissage	Id.	0,0119	0,0111	0,0089	0,0100
	Charbon	Id.	0,0359	0,0152	0,0207	0,0165
	Machine	Id.	0,0063	0,0101	0,0125	0,0047
	Voie	Id.	0,0042	0,0042	0,0053	0,0044
	Main-d'œuvre	Id.	0,0375	0,0655	0,1088	0,0367
	PRIX TOTAL	Id.	0,1208	0,1324	0,1922	0,0886

Le tableau ci-contre [1] fournira, en outre, un assez grand nombre de points de comparaison, en ce qui concerne les divers modes de la traction mécanique.

§ 7

RÉGULARISATION DE LA TRACTION

687 — *Généralités.* — Lorsque l'extraction s'opère verticalement dans les puits, l'enroulement et le déroulement des deux câbles apportent, pour la répartition des poids, et, par suite, pour celle des travaux moteur et résistant dans la machine, une perturbation très importante. Les efforts des ingénieurs se sont exercés sur ce point, et ont donné naissance à un certain nombre d'inventions remarquables, dont l'étude formera l'objet du chapitre XXXIII.

Cette influence se retrouve dans les tractions mécaniques, bien qu'à un moindre degré, puisque la pesanteur n'agit plus alors que par l'une de ses composantes. Elle s'annule même complètement dans la traction sur palier, ou plutôt elle s'y réduit à une simple variation dans les résistances passives. Mais, pour simplifier ces explications, nous ferons ici abstraction de ces dernières forces. Elle disparaît encore, avec l'enroulement lui-même, dans les systèmes fondés sur l'emploi d'une corde sans fin.

Quant aux voies inclinées, il y a lieu de faire une distinction entre les tractions en rampe et les plans inclinés automoteurs. L'influence perturbatrice existe encore, pour ces derniers; mais il est, en général, permis de ne pas s'en préoccuper. En effet, s'ils fonctionnent avec un frein manœuvré à la main, on en sera quitte pour engager plus ou moins celui-ci, afin de détruire une quantité variable de travail disponible. Cette inégalité n'introduit aucune complication comparable à l'importance de l'équilibre qu'il est nécessaire de conserver, dans les moteurs, entre les travaux positifs et négatifs. Si, au lieu d'un frein, on emploie un régulateur

[1] Dressé à l'aide des *moyennes* insérées dans le Rapport à l'Institut des ingénieurs des mines du nord de l'Angleterre (traduction de Briart et Weiler, Mons, 1872, p. 183).

à ailettes, nous avons déjà dit que l'on accepte une certaine variation de vitesse, du commencement à la fin de l'excursion, due à l'influence des câbles. On en est quitte pour disposer de la grandeur des ailettes, de manière à maintenir ces vitesses extrêmes dans des limites acceptables. Cependant je dois ajouter que, pour des plans inclinés de très grandes dimensions, on a pris quelquefois ([1]), à leur égard, les mêmes précautions qu'avec les tractions mécaniques en rampe.

688 — C'est donc surtout pour ces dernières que la question acquiert tout son intérêt. Deux moyens distincts peuvent être employés à cet égard. Le premier consiste à leur appliquer les diverses solutions imaginées pour l'extraction verticale, en y introduisant les modifications secondaires destinées à les adapter à ces nouvelles conditions. Ces indications prendront place dans le chapitre XXXIII.

Mais il existe encore, pour les tractions en rampe, une solution toute différente, qui leur est propre, et n'a pas son équivalent dans l'extraction verticale. Elle consiste à modifier le profil en long de la voie, et à le creuser en courbe, de telle sorte que cet ouvrage, devenu une surface cylindrique, ne conserve plus alors, qu'en raison de l'habitude, le nom de *plan incliné*. Il suffira de déterminer ce *profil d'équilibre*, de telle sorte que les variations successives des poids moteur et résistant, dues à l'enroulement des câbles qui traînent à terre sur les rouleaux, se trouvent, à chaque instant, compensées par la modification continue qui s'opère dans l'inclinaison, et, par suite, dans la réduction de la pesanteur d'après le sinus de cet angle. L'un des deux poids augmentant en valeur absolue, si on le réduit dans un rapport plus important qu'auparavant, le résultat pourra rester égal à celui de la réduction, atténuée, que l'on opère sur le poids amoindri. Il est très remarquable que la courbe capable de cette pondération précise soit la *cycloïde*, ainsi que nous allons le faire voir ([2]).

([1]) Saint-Pierre-d'Allevard, le Cheylas (Isère), Saint-Georges d'Hurtières (Savoie).

([2]) Cette détermination a été faite d'une manière remarquable par M. le professeur Julius von Hauer (*Berg und Huttenmänisches Jahrbuch der k. k. Akademien zu Leoben*, XXXI). J'ai cherché depuis (*Annales*, 8e, III, 422) à en donner une démonstration directe, que je reproduis ici.

689 — *Rampe d'équilibre.* — On sait [1] que la tangente et la normale en un point M d'une cycloïde renversée (fig. 452) s'obtiennent en le joignant aux points le plus bas T, et le plus haut N,

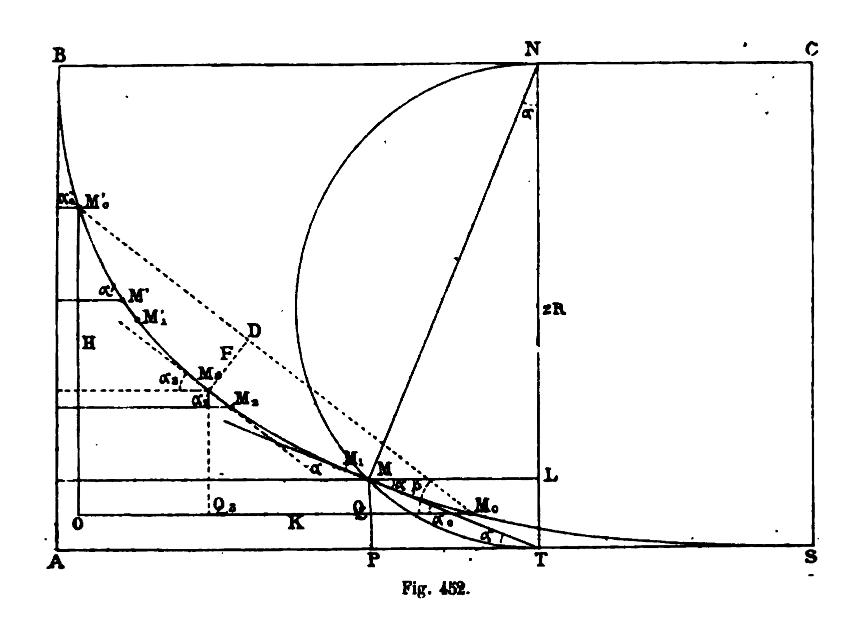


Fig. 452.

du cercle générateur. De plus, l'arc $s = SM$, compté à partir du sommet S, est égal au double de la longueur MT de cette tangente. On a donc pour la valeur de cet arc :

$$s = 4R\sin\alpha, \tag{1}$$

$$ds = 4R\cos\alpha\, d\alpha, \tag{2}$$

en appelant α l'inclinaison de la tangente à l'extrémité.

Imaginons que l'on installe, en un point arbitraire M'_0, une poulie sur laquelle passe un câble traînant, de longueur quelconque M'_0M_0. Les chariots attelés à ses deux extrémités occuperont, à chaque instant, des positions conjuguées M et M', satisfaisant à la condition :

$$MM_0 = M'M'_0.$$

[1] Haton de la Goupillière, *Éléments du calcul infinitésimal*, p. 196 et 198.

Les deux brins M'_0M et M'_0M' du câble varieront donc, en sens contraires, de quantités égales :

$$MM_1 = M'M'_1,$$

pour passer de M et M′ à des positions infiniment voisines M_1 et M'_1. On aura, d'après cela, constamment :

$$(3) \qquad s + s' = \text{const.} = s_0 + s'_0,$$

c'est-à-dire [1] :

$$(4) \qquad \sin\alpha + \sin\alpha' = \frac{s_0 + s'_0}{4R},$$

et, en différenciant :

$$(5) \qquad \cos\alpha'\, d\alpha' = - \cos\alpha\, d\alpha.$$

Cela posé, appelons q le poids du chariot vide, et Q celui du minerai. Le poids vertical $Q + q$ du wagon plein M a pour composante tangentielle $(Q + q)\sin\alpha$. Celle-ci gagne, en arrivant en M_1, une augmentation de valeur marquée par sa différentielle $(Q + q)\cos\alpha\, d\alpha$. D'un autre côté, la composante tangentielle $q \sin\alpha'$ du poids q du wagon vide M′, varie également, en descendant en M'_1, de $q \cos\alpha'\, d\alpha'$, c'est-à-dire, d'après la condition (5) qui relie les points conjugués : $- q \cos\alpha\, d\alpha$. Comme, d'ailleurs, elle se transmet à la poulie par un moment de sens contraire, on peut dire, en d'autres termes, que le moment total gagne l'accroissement $+ q \cos\alpha\, d\alpha$. Il augmente donc, en définitive, de la quantité :

$$(6) \qquad (Q + 2q)\cos\alpha\, d\alpha.$$

En ce qui concerne maintenant le câble, le grand brin M_0M, en se raccourcissant de MM_1 ou ds, fait disparaître le poids $\varpi\, ds$ de cet élément (si ϖ désigne le poids du câble par unité de longueur), c'est-à-dire (2) : $4\varpi R \cos\alpha\, d\alpha$. La composante tangentielle corres-

pondante sera $4 \varpi R \cos \alpha \, d\alpha . \sin \alpha$, ou, d'après (1) : $\varpi s \cos \alpha \, d\alpha$. On aura de même, pour le petit brin, la variation $\varpi s' \cos \alpha' d\alpha'$, c'est-à-dire (5) : $- \varpi s' \cos \alpha \, d\alpha$. Mais comme elle influence le moment total en sens contraire, on peut dire que celui-ci éprouve, en même sens, la variation : $+ \varpi s' \cos \alpha \, d\alpha$, et, par conséquent, comme variation totale :

$$\varpi (s + s') \cos \alpha \, d\alpha,$$

c'est-à-dire (3) :

$$\varpi (s_0 + s'_0) \cos \alpha \, d\alpha. \tag{7}$$

On reconnaît, d'après cela, en comparant les parties gagnées et perdues (6 et 7), qu'elles sont, l'une et l'autre, proportionnelles à $\cos \alpha \, d\alpha$. Il suffit donc, pour que ces variations se compensent sans cesse, que l'on établisse, entre les coefficients constants, la relation :

$$\frac{Q + 2q}{\varpi} = s_0 + s'_0. \tag{8}$$

Le théorème se trouve ainsi démontré, et nous reconnaissons que *la cycloïde est une courbe d'équilibre.*

690 — Nous pouvons, de même, déduire de cette analyse les formules données par M. de Hauer pour la construction, par points et tangentes, de l'arc cycloïdal d'équilibre qui joint deux points effectivement donnés.

Nous avons pour cela, d'après (4) et (8) :

$$\sin \alpha + \sin \alpha' = \frac{Q + q}{4 \varpi R},$$

et, en particulier, pour les extrémités M_0, M'_0 du parcours :

$$\sin \alpha_0 + \sin \alpha'_0 = \frac{Q + q}{4 \varpi R}. \tag{9}$$

692 — Nous pouvons maintenant, pour plus de simplicité, transporter l'origine au point O, en prenant pour axes coordonnés OM_0 et OM'_0, de manière à réduire au minimum l'étendue de l'épure du tracé $M_0M'_0$.

On a, pour opérer cette transformation, les formules :

$$X = OQ = x'_0 - x,$$
$$Y = MQ = y - y_0,$$

c'est-à-dire (10 et 12) :

$$(14) \qquad X = R(2\alpha'_0 + \sin 2\alpha'_0 - 2\alpha - \sin 2\alpha),$$
$$(15) \qquad Y = R(\cos 2\alpha_0 - \cos 2\alpha).$$

La position M_2 de la rencontre sera fournie par la condition $s = s'$, ce qui donne (3) :

$$s_2 = \frac{s_0 + s'_0}{2},$$

ou encore (1) :

$$\sin \alpha_2 = \frac{\sin \alpha_0 + \sin \alpha'_0}{2};$$

d'où l'on déduira (14 et 15) les valeurs correspondantes de X_2 et Y_2.

On peut également déterminer le point M_3 qui est le plus éloigné du plan incliné $M_0M'_0$, et, par suite, la flèche $F = M_3D$ de la rampe curviligne. Ce point est celui pour lequel la tangente est parallèle à la corde $M_0M'_0$, dont l'inclinaison β a pour valeur :

$$\sin \beta = \frac{OM'_0}{M_0M'_0} = \frac{H}{\sqrt{H^2 + K^2}}.$$

On a donc la condition :

$$\sin \alpha_3 = \frac{H}{\sqrt{H^2 + K^2}},$$

et, par conséquent (14 et 15), les valeurs correspondantes de X_3 et Y_3. La valeur de la flèche est ensuite donnée par la formule :

$$F = M_3D = M_0Q_3 \sin\beta - M_3Q_3 \cos\beta,$$

c'est-à-dire :

$$(16) \qquad F = \frac{H(K - X_3) - KY_3}{\sqrt{H^2 + K^2}}.$$

693 — M. de Hauer a traité un exemple numérique, destiné à montrer qu'une faible flèche, et une différence minime de longueur de câble, suffisent pour transformer un plan incliné en courbe d'équilibre.

Il prend comme données :

$$H = 150^m, \qquad K = 240^m,$$
$$Q = 600^{kg}, \qquad q = 750^{kg}, \qquad \varpi = 1^{kg}.$$

L'élimination entre les équations (11 et 13) donne :

$$\alpha_0 = 36^\circ 57', \qquad \alpha'_0 = 27^\circ 16'.$$

Le profil se construit alors à l'aide des relations (14 et 15) :

$$\cos 2\alpha = 0{,}58023 - 0{,}0020176\, Y,$$
$$X = 1115{,}45 - 495{,}63\,(2\alpha + \sin 2\alpha).$$

La rencontre a lieu pour la situation :

$$X_2 = 116^m{,}7 \qquad Y_2 = 70^m{,}1 \qquad \alpha_2 = 31^\circ 59'.$$

La flèche correspond au point :

$$X_3 = 116^m{,}3 \qquad Y_3 = 70^m{,}4 \qquad \alpha_3 = 32^\circ 0'.$$

Elle a pour valeur :

$$F = 5^{m},9$$

soit environ 2 pour 100 de la corde, qui est égale à :

$$\sqrt{H^2 + K^2} = 283^{m},02.$$

L'arc total a pour longueur :

$$s'_0 - s_0 = 283^{m},48$$

et l'écart *proportionnel* entre l'arc et la corde est seulement de

$$0,0016 = \frac{1}{625}.$$

La hauteur de la cycloïde a pour valeur :

$$2R = 991^{m},27.$$

CHAPITRE XXX

LA FORCE MOTRICE DANS LES MINES

—

§ 1

MOTEURS ANIMÉS

694 — *Force de l'homme.* — L'intervention d'une force motrice pour mettre en action le vaste appareil des tractions mécaniques, nous fournit un exemple important de l'application des moteurs à un travail souterrain. Il s'en présentera d'autres analogues pour l'extraction, l'épuisement, l'aérage. Je saisirai cette première occasion pour présenter ici, à un point de vue général, quelques considérations relatives à l'emploi des moteurs dans l'exploitation souterraine.

Nous envisagerons d'abord les moteurs animés, et, parmi eux, la force de l'homme.

On appelle *manœuvre* l'homme auquel on ne demande que de dépenser sa force, sans y apporter une habileté spéciale, qui caractérise, au contraire, l'*ouvrier* mineur. Le manœuvre est employé pour le pelletage, le brouettage, le roulage, l'élévation des poids, le virage de la manivelle ou du cabestan. Sa capacité de travail varie notablement avec la nature de la besogne qu'il est chargé d'effectuer. Elle atteint, pour une journée de 8 heures, les moyennes suivantes, exprimées en kilogrammètres [1] :

[1] Claudel, *Aide-mémoire*, 14.

	kilogrammètres.
Pelletage (1)	38 880
Brouettage	43 200
Élévation des poids à dos	56 160
Élévation des poids avec une poulie . .	77 760
Virage à la manivelle (2)	172 800
Herschage horizontal.	207 360
Roue à marche	259 200
Élévation du poids de l'homme (3). . . .	280 800

L'effet utile du travail d'une femme ne peut être évalué qu'aux deux tiers de celui de l'homme. Il en est de même pour un jeune herscheur de 15 à 16 ans.

La variation progressive de la force avec l'âge est mise en évidence par les nombres suivants, relatifs à l'effort que l'homme peut développer *momentanément* avec les bras (4) :

Nombre des années	Effort en kilogrammes
14	47,9
16	63,9
18	79,2
20	84,5
25	88,7
30	89,9
40	87,0

Le plus grand effort que l'homme puisse exercer *accidentellement*, en tirant ou poussant horizontalement, est de 50 à 60 kilogrammes. Il peut soulever un poids variant entre 200 et 300 kilogrammes, et porter à quelque distance 150 kilogrammes. Ces chiffres, bien que déjà excessifs, ont été cependant quelquefois

(1) A la hauteur de $1^m,60$.

(2) Dans les conditions du travail des mines, on ne doit compter que sur 140 000 kilogrammètres (Callon, *Cours d'exploitation*, II, 141 ; — Demanet, *Cours d'exploitation*, II, 58).

(3) En gravissant une pente douce.

(4) *Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles*, 1847, 200.

quadruplés dans des cas absolument extraordinaires [1]. On voit parfois des femmes porter 40, et jusqu'à 50 kilogrammes sur la tête.

695 — *Force du cheval.* — Le cheval joue un rôle important dans l'exploitation souterraine. Certaines houillères anglaises possèdent 200, et même 300 chevaux. Si la nature de la mine admet des galeries élevées, on trouve avantage à employer de fortes races. Dans d'autres cas, on a recours à de petits poneys, ne dépassant pas 0m,90 au garrot.

Le cheval peut exercer accidentellement des efforts de 300 et, au besoin, 500 kilogrammes. Sa capacité de travail est exprimée par les nombres suivants [2].

Traction au pas.	2 168 000
Traction au trot.	1 568 000
Manège au pas	1 166 400
Manège au trot	972 000

On admet pratiquement pour le travail des mines un million de kilogrammètres [3]. Le cheval est sensible à l'état de la température et de la ventilation. Les résultats de son travail en subissent, de suite, une influence très marquée (n° 605).

L'extraction, dans certaines mines d'Espagne, est faite par des mules ou par des ânes. On peut leur demander, au manège et au pas, les rendements suivants :

Mulet	777 600
Ane	322 560

Le mode d'emploi le plus ordinaire du cheval est la traction en palier. Si l'on doit élever des chariots sur une rampe, il faut bien se garder de la faire, en même temps, gravir par le cheval. Celui-ci

(1) A. Evrard, *Les moyens de transport*, I, 3. — Courtois, *Traité des moteurs*. — Pélissier, *Traité des maladies des artisans*, 305.
(2) Claudel, *Aide-mémoire*, 14.
(3) Callon, *Cours d'exploitation*, II, 141.

devra, dans ce cas, tirer en palier sur une corde ayant la même longueur que le plan incliné, et passant sur une poulie placée à la tête de ce plan.

On peut également faire descendre le cheval sur la voie inclinée. si elle présente assez de largeur. Il agit alors en tirant à plein collier, et en ajoutant à son effort musculaire une certaine composante de son poids. Il remonte ensuite seul, pendant que les chariots vides redescendent d'eux-mêmes par l'action de la pesanteur.

On peut enfin enrouler la corde sur l'arbre d'un manège (fig. 195), en attelant, sur ses brancards, un ou plusieurs chevaux. Il faut avoir soin de laisser traîner une reculoire, qui, sans opposer aucune résistance à la rotation directe, se pique en terre, et empêche tout mouvement rétrograde, si l'animal se trouve maitrisé par une résistance, qu'il est impuissant à surmonter. L'effort diminue vers la fin, par suite de l'enroulement du câble, qui cesse d'ajouter son propre poids à celui de l'enlevage. Aussi voit-on quelquefois des extractions, commencées au pas, finir au trot, et même au galop, quand il y a intérêt à gagner du temps. La marche inverse paraitrait, à première vue, plus naturelle, en raison de la fatigue qui s'accumule. Mais elle serait, au contraire, irréalisable. Dans ces vargues, ou baritels, le rayon de circulation doit être aussi grand que possible, dans les limites compatibles avec les nécessités du soutènement. Il ne saurait, dans aucun cas, descendre au-dessous de $2^m,50$.

§ 2

MOTEURS HYDRAULIQUES

696 — *Force hydraulique.* — Avant l'invention de la machine à vapeur, la force hydraulique constituait, pour les mines, le moteur par excellence. Elle y joue encore aujourd'hui un rôle d'une certaine importance. Cette forme de l'énergie est particulièrement bien adaptée aux convenances de l'exploitation souterraine. Elle résulte, en effet, de deux facteurs : le poids de l'eau débitée, et la hauteur de chute. Or, l'on ne rencontrera, poui aucune forme de

l'industrie, autant de facilité à augmenter cette hauteur, que dans les mines ; pour celles, du moins, qui possèdent une galerie d'écoulement servant à évacuer les eaux dans quelque vallée voisine. Il suffit, dans ce cas, d'introduire le liquide par la partie supérieure des travaux, et de l'écouler au dehors par cette galerie, après avoir recueilli, sur des récepteurs appropriés, le travail dont il devient, par sa descente, le véhicule.

Il est même arrivé, très exceptionnellement, que pour se procurer, sur certains points de l'intérieur, une force d'un emploi commode, on y dirigeait des eaux, dont on recueillait le travail, en les recevant ensuite dans le puisard, d'où la machine à vapeur d'épuisement les relevait au jour, en même temps que les infiltrations de la mine. Cette double opération est incontestablement anti-économique, et ne peut se motiver, dans un cas donné, que par quelque avantage spécial.

697 — Quant au second facteur, à savoir la quantité d'eau, on a fait parfois, pour l'augmenter, des dépenses considérables, en opérant le captage des eaux superficielles sur d'immenses étendues. On voit de ces bassins de retenue à Decize, à Tharsis, à Schemnitz. Dans ce dernier district, les retenues d'eau représentent environ huit millions de mètres cubes. Mais, nulle part, on ne rencontre un ensemble plus imposant, à cet égard, que dans le massif métallifère du Hartz. La surface topographique de la contrée a été étudiée à ce point de vue, afin de réunir, dans les déclivités les plus favorables, les plus grands volumes d'eau, avec le minimum de conduits collecteurs. On n'y compte pas moins de 67 réservoirs principaux, et un total d'environ 212 kilomètres de canaux, qui se répartissent de la manière suivante :

Canaux collecteurs	112 722 mètres
Canaux distributeurs	73 860 —
Fossés.	5 996 —
Communications souterraines. .	19 914 —
	212 492 mètres

lier, en Suède, pour certains filons verticaux de minerai de fer que l'on dépèce à découvert [1].

§ 3

MOTEURS A VAPEUR

700 — L'emploi de la vapeur a renouvelé la face de l'exploitation des mines. On l'emploie sous trois formes différentes : 1° dans les *locomotives*, pour la traction souterraine (n° 629) ; 2° dans quelques *locomobiles* ou *machines mi-fixes*, faciles à transporter d'un point sur un autre de l'intérieur, pour y remplir des fonctions temporaires ; 3° dans les *machines fixes* proprement dites.

Il est inutile d'avertir que ce dernier type efface absolument les deux autres, pour le nombre et l'importance des applications. Il s'en distingue, en ce qu'il nécessite des générateurs distincts de l'appareil moteur, et installés à part. Ces chaudières prennent souvent un très grand développement, en raison de la puissance considérable qu'on leur demande, et, en outre, parce que les mines de combustible s'attachent à brûler, pour leurs propres besoins, toutes les sortes inférieures que le commerce accepterait difficilement, et qui ne sauraient supporter de frais de transport. Les dimensions des grilles se ressentent nécessairement de ce choix. L'emploi du vent forcé a souvent rendu des services à cet égard. Quand les dimensions deviennent trop considérables, on subdivise la production de force motrice entre plusieurs chaudières, que l'on réunit par batteries.

[1] On trouve dans le *Dictionnaire des sciences naturelles* de Valmont de Bomare (Lyon, 1776, article *Exhalaisons*), au milieu de fables absurdes qui étaient accréditées, il y a un siècle, l'indication de moulins à vent installés en Suède dans des galeries de mine, pour manœuvrer des pompes. Il est plus que probable qu'il n'y a là qu'une erreur de plus. Cependant, il ne serait pas absolument impossible que dans certaines mines, présentant un puissant aérage naturel dû à de grandes différences de niveau, combinées avec une orientation favorable des orifices, on ait pu en dériver une partie dans un conduit spécial, pour actionner un panémone, destiné à l'épuisement de quelque ouvrage en vallée de peu d'importance.

Nous verrons également (chap. XLV) que le vent était autrefois utilisé pour l'aérage souterrain. Ce moyen, qui doit être aujourd'hui rejeté comme complètement insuffisant, jouait encore un certain rôle, à une époque très rapprochée de nous.

Le mode d'installation de ces générateurs permet de classer, à leur tour, les machines fixes en trois catégories, suivant que l'on établit : 1° la machine et le générateur au fond; 2° le moteur au fond avec les chaudières au jour; 3° la machine et les foyers au jour (¹).

701 — La première combinaison est la moins employée. Elle présente, en effet, de graves inconvénients. En premier lieu, on doit la considérer comme incompatible avec la présence du grisou. Dans tous les cas, s'il y a lieu de concevoir la moindre crainte à cet égard, on doit pratiquer, pour l'alimentation des foyers, un conduit spécial, amenant directement l'air frais du dehors, au lieu de les alimenter aux dépens du courant qui a traversé les tailles.

Jamais les chaudières ne doivent être installées en plein charbon. Il faut leur préparer des emplacements dans le rocher. Le contact de tout boisage est également exclu, et la maçonnerie reste seule admissible. Il est même bon de construire un double muraillement, avec une gaine d'air circulant entre les deux massifs, pour arrêter toute conductibilité.

Il est nécessaire d'établir une sortie directe pour la fumée et l'échappement de vapeur. On peut affecter à cet usage quelque puits hors de service, ou disposer, dans un puits en activité, des tuyaux d'un diamètre suffisant. L'emplacement le plus favorable, à cet égard, sera le puits de sortie du courant d'air, afin que l'échauffement déterminé par cette colonne vienne en aide au tirage.

702 — Dans le second système, on supprime toutes ces difficultés, en établissant les chaudières aux abords du puits. Il devient, par compensation, nécessaire de les relier au moteur placé dans les travaux, au moyen d'une conduite de vapeur. On a soin d'envelopper et de feutrer cette dernière le mieux possible, pour éviter la condensation due au refroidissement (²). On doit éviter, autant qu'on le peut de placer cette colonne dans le puits des pompes, à cause de

(¹) Sur 1423 machines employées en France dans les mines de combustible, 18 seulement sont installées au fond (*Statistique minérale pour* 1880, page 21).

(²) D'après les expériences de M. Walther-Meunier, la quantité de vapeur condensée par heure et par mètre carré de *métal nu* est de :

la pluie et de l'humidité. Une sortie de vapeur est encore nécessaire dans les mêmes conditions que pour le cas précédent. Remarquons toutefois que, la fumée ayant disparu, cette nécessité cesse d'exister pour les machines à condensation, telles que la pompe Tangye, le pulsomètre, etc., dont il sera question plus tard.

703 — Enfin, dans la troisième combinaison, l'on écarte, à la fois, les complications qui naissent de l'emplacement souterrain du générateur et du récepteur, en les installant tous les deux à la surface. La plupart du temps, l'opérateur se trouve lui-même au jour. Lorsqu'il doit être installé au fond, il reste à lui faire parvenir la force motrice engendrée à l'extérieur. C'est l'objet des *transmissions de force*, dont il nous reste à parler dans le paragraphe suivant.

Mentionnons, pour terminer celui-ci, les chiffres suivants, destinés à donner une idée du secours qu'apporte à l'exploitation des mines la force de la vapeur. Ils indiquent, en ce qui concerne l'année 1880, ceux des départements dans lesquels cette application a dépassé le chiffre de mille chevaux [1].

DÉPARTEMENTS	FORCE MOTRICE — Chevaux	NOMBRE DE MACHINES	COMBUSTIBLE CONSOMMÉ — Tonnes
Pas-de-Calais	16 917	273	217 648
Loire	16 603	194	246 861
Nord	9 824	262	172 554
Saône-et-Loire	8 460	168	171 202
Gard	4 659	165	81 444
Allier	2 323	78	55 363
Bouches-du-Rhône	1 548	30	40 923
Haute-Saône	1 145	30	19 295
TOTAL POUR LA FRANCE. . .	71 358	1 557	1 159 716

Cuivre. . . . . 2^{kg},816
Fonte . . . . 3^{kg},484
Fer . . . . 3^{kg},906

(Haton de la Goupillière, *Revue des questions scientifiques*, II, 1028.)

[1] *Statistique minérale* pour 1880, p. 71.

§ 4

TRANSMISSIONS

704 — *Barres de renvoi.* — Les moyens employés dans les mines, pour transmettre, à distance, le travail mécanique d'un moteur jusqu'à un opérateur, se rapportent aux cinq catégories suivantes : 1° les barres de renvoi ; 2° les câbles ; 3° l'air comprimé ; 4° l'eau sous pression ; 5° l'électricité.

Les *barres de renvoi* sont, pour les grandes longueurs, l'équivalent de la bielle d'une machine ordinaire. Il y a lieu, en ce qui concerne leur emploi, de distinguer le sens horizontal et le sens vertical.

La première de ces deux applications a, aujourd'hui, à peu près disparu. On formait ces renvois de longuerines de bois, assemblées bout à bout. Elles étaient supportées sur des pièces oscillantes, et, par suite, animées d'un mouvement alternatif de translation circulaire (1). Avec une telle disproportion entre la longueur et l'équarrissage, il devient impossible d'agir en refoulant. Pour ce motif, le système était double, et deux semblables longuerines se trouvaient réunies l'une à l'autre par des liens, articulés, en leurs milieux, sur les pièces oscillantes. On exerçait alternativement des tractions sur chacune de ces barres, pour éviter d'avoir à fouler avec l'autre.

Dans le sens vertical, ces organes prennent le nom de *maîtresse-tige*. On en fait un grand usage, et nous les décrirons en détail dans la théorie des pompes de mines (chap. XXXVIII). La connexion des barres horizontales avec cette maîtresse-tige s'effectuait au bord du puits, au moyen d'un énorme *varlet*, ou levier coudé, analogue aux renvois de sonnette.

705 — *Câbles.* — Le câble se substitue très avantageusement aux pièces rigides, en raison de sa souplesse. Il est l'organe essentiel de l'extraction verticale, des tractions mécaniques, et des plans automoteurs. Son étude formera l'objet du chapitre XXXI.

(1) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 184.

Des *câbles de renvoi* proprement dits ont été parfois installés, entre un moteur placé au jour et le fonctionnement d'un service souterrain. On peut citer, comme exemples, le système corde-queue d'Aniche, de 550 mètres de développement horizontal, relié par un câble, sur une hauteur verticale de 300 mètres, à la machine à vapeur qui avait été installée à la surface [1]; ainsi que la chaîne sans fin suspendue dans le puits de Gannow Colliery (Burnley, Lancashire) [2].

Les *câbles télodynamiques*, dus à M. A. Hirn, remplaceraient les barres de renvoi, pour les transmissions de force d'une intensité modérée, que l'on pourrait avoir à installer sur le carreau d'une mine, mais ils ne seraient pas pratiques dans l'intérieur.

Ces câbles métalliques sont l'équivalent des courroies sans fin usitées dans les machines. Seulement, la distance devient relativement énorme, ce qui rend nécessaire d'alléger le câble, en lui donnant un faible diamètre : 15 à 20 millimètres en général [3]. On ne peut, dans ces conditions, lui demander qu'une tension limitée, et, par conséquent, ce n'est qu'au prix d'une très grande vitesse : 20 mètres par seconde, par exemple, que l'on pourra transmettre une force en chevaux d'une certaine importance. Les points d'appui devant, pour éviter le glissement, être animés d'une vitesse égale, ne pourront être que des poulies d'un très grand diamètre. On les établit sur des piliers élevés, afin qu'en faisant chaînette entre ces supports, écartés ordinairement de 100 à 125 mètres, le câble n'arrive pas à traîner à terre. On a pu s'étendre ainsi jusqu'à 2 kilomètres de distance. On a obtenu, à Schaffouse, la transmission, à 600 mètres, d'une puissance de 750 chevaux. Le rendement est très favorable : on ne perd que 2 °/₀ à 300 mètres, et moins de 10 °/₀ à 2 kilomètres.

706 — *Eau sous pression.* — L'emploi de l'eau comme agent de transmission est fondé sur son incompressibilité presque abso-

(1) Georges Vuillemin (*Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 429). Une communication analogue a été établie au Martinet près Charleroi (Supplément *du Traité de Ponson*, II, 33).

(2) *Transport mécanique de la houille*, traduction de Briart et Weiler, p. 90.

(3) Tresca (*Bull. Soc. d'enc.* 3ᵉ, X, 314).

lue. Tandis qu'un câble constitue, au point de vue abstrait, une ligne de longueur invariable, et de forme indéterminée, incapable de pousser, mais apte à tirer; une conduite cylindrique pleine d'eau fournit, de même, une ligne de longueur invariable et susceptible de se plier aux formes les plus compliquées; seulement elle est, à l'inverse du cas précédent, incapable de tirer, et apte seulement à pousser. Cette combinaison fournit un merveilleux engin, capable de transmettre, à plusieurs kilomètres, des efforts de plusieurs milliers de tonnes, au moyen de pressions qui sont, la plupart du temps, d'une vingtaine d'atmosphères. On réalise, dans de telles conditions, pour des opérations multiples et compliquées, un rendement de 20 pour 100 environ. La simple manœuvre d'un robinet suffit pour produire la mise en train, aussi bien que l'arrêt de l'appareil [1].

M. Angély emploie, dans les conditions suivantes, l'eau comprimée, pour transmettre au fond le travail développé à la surface [2]. Il dispose, au jour, la première partie d'un accumulateur, c'est-à-dire un moteur à vapeur et une batterie de presses hydrauliques, permettant d'injecter de l'eau dans une capacité qui se trouve soumise à une pression très élevée. Cette capacité n'est autre qu'une conduite, présentant la longueur nécessaire pour aboutir, dans l'intérieur de la mine, au point voulu, sur lequel on dispose la seconde moitié de l'accumulateur, à savoir un cylindre vertical, dans lequel peut se mouvoir un piston chargé de poids.

En injectant une quantité d'eau égale au volume de ce cylindre, on remonte le poids jusqu'à son sommet. Il a fallu, pour cela, dépenser (sauf l'influence des résistances passives), un travail marqué par le produit de ce poids et de la hauteur du cylindre. A ce moment, on interrompt la communication entre le moteur extérieur et le cylindre, et l'on met ce dernier en rapport avec une petite machine rotative, ou à colonne d'eau, en y dépensant l'eau renfermée dans l'accumulateur. Le poids redescend alors, en fournis-

(1) Tresca (*Bull. Soc. d'enc.* 3e, X, 317).

(2) Hirsch, *Rapports du jury de l'Exposition de* 1878. Groupe VI, classe 54, page 376.

sant un travail égal à celui que le moteur avait dû dépenser pour son ascension.

707 — L'incompressibilité de l'eau permet encore de transmettre très simplement le mouvement alternatif d'un piston (¹).

Concevons, à cet effet, deux cylindres égaux A et B (fig. 453) dont les extrémités opposées sont mises en relation par les tuyaux T et T'. Le premier de ces cylindres est installé dans le voisinage du moteur, qui en actionne directement le piston *a*. Le second se trouve près du mécanisme qu'il s'agit de commander, par l'intermédiaire du piston *b*. Tout le système est plein d'eau.

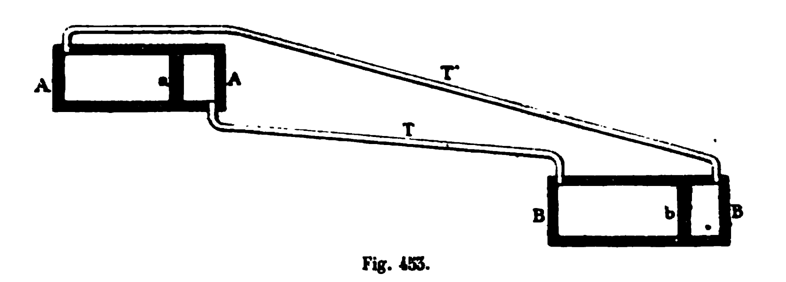


Fig. 453.

Si l'on suppose que *a* se déplace, vers la droite, d'une certaine quantité, il refoule, dans le tuyau T, une quantité d'eau égale au *volume engendré* par son mouvement dans le corps de pompe A. Le tube T dégorgera donc un volume égal dans le cylindre B, et, pour cela, le piston *b* devra s'y mouvoir de la même quantité que *a*, et dans le même sens. En raison de ce déplacement, *b* refoule, sur sa face opposée, un égal volume d'eau dans la conduite T'. Celle-ci restituera, par conséquent, la même quantité de liquide au cylindre A, laquelle viendra occuper, en arrière de *a*, le volume engendré par lui. On voit ainsi que les mouvements de

(¹) On trouve, dans l'intérieur des mines, de semblables installations à Veyras (Ardèche), à la mine Phœnix (Cornwall), à Ikouno (Japon), à Kladno (*Rev. u. d. m. et u.*, 1868), à Sulzbach-Altenbach (*CRM*, décembre 1876, 1. — *Zeitschrift* BHS, XXII, 179; XXIII, 60). On peut encore rapporter à ce même ordre d'idées la pompe-sans-limite Prudhomme, qui présente une application très ingénieuse d'un système analogue, et dont il sera question dans le chapitre XL (*CRM*, janvier 1877, 29).

ces deux organes seront nécessairement synchrones, et formeront l'exacte reproduction l'un de l'autre. L'opérateur se trouve, en conséquence, influencé par *b*, à l'autre extrémité de la transmission, comme il le serait par *a*, au contact même du moteur.

A cet ensemble on devra joindre, d'une part, des soupapes de sûreté, pour le cas où une perturbation quelconque, tendant à refouler plus d'eau que les capacités n'en peuvent contenir, ferait monter démesurément la pression. Il faut, en outre, à un point de vue inverse, un appareil foulant, permettant d'injecter, dans l'intérieur, des quantités d'eau suffisantes pour réparer les fuites.

708 — Si, maintenant, nous rapprochons les uns des autres les trois modes d'emploi de l'eau qui viennent d'être indiqués successivement, nous trouvons, dans celui du n° 689, l'injection, à l'intérieur de la mine, d'une quantité d'eau absolument déterminée, car elle est le quotient du travail à produire par la hauteur de chute. Elle peut, par conséquent, devenir considérable, en augmentant, de la manière la plus fâcheuse, en l'absence de galerie d'écoulement, le volume des pompes d'épuisement, indépendamment des résistances passives mises en jeu par cette action motrice à deux degrés.

Dans le système de l'accumulateur (n° 706), nous rencontrons encore une injection d'eau, mais qui peut être limitée à volonté, si l'on a soin d'augmenter la surcharge du piston ; car le travail de chaque cylindrée reste proportionnel à ce poids.

Enfin, dans le système des cylindres conjugués, la quantité d'eau reste fixe. Elle agit, ainsi que nous l'avons dit, à la manière d'une courroie, et l'on n'effectue plus aucune introduction de liquide à l'intérieur des travaux.

709 — *Air comprimé.* — L'air étant un fluide aussi répandu que l'eau, en même temps que doué de propriétés très différentes, il était naturel que l'on cherchât à l'utiliser également, comme agent de transmission. Cet emploi peut se concevoir d'après le double mode qui vient d'être indiqué pour celui de l'eau (nos 706, 707).

Imaginons, en premier lieu, que l'on ait confiné une colonne d'air

dans une conduite, fermée par deux pistons à ses extrémités. Si l'on agit sur l'un d'eux, l'air interposé se comprimera, et le second piston ne pourra se retrouver en équilibre avec la pression atmosphérique, à laquelle il est soumis sur sa face libre, qu'en se déplaçant d'une quantité égale, pour que le gaz reprenne son ancien volume. De là un moyen très simple de transmettre le mouvement. J'ajouterai que ce procédé est de la plus grande délicatesse, et qu'il a fourni à M. Marey des résultats remarquables, dans ses appareils de précision, destinés à transmettre à un indicateur graphique, des mouvements à peine sensibles, tels que celui du pouls.

Ce principe n'est pas non plus absolument étranger à la pratique des mines, car on a employé ce moyen de communication, pour la transmission des signaux de la recette inférieure, au mécanicien chargé de la conduite de la machine d'extraction. Mais, en même temps, il est bien clair que ce procédé reste limité à des forces à peine perceptibles, et ne saurait jouer aucun rôle efficace, dans la question qui nous occupe en ce moment.

710 — C'est donc le second moyen que nous devrons mettre en œuvre, à savoir l'injection dans la mine, d'un certain volume d'air, renfermant en puissance la quantité d'énergie, qui lui aura été communiquée par un moteur extérieur, et dont il devient le véhicule.

L'appareil dont on se sert pour cela, porte le nom de compresseur [1]. Il se compose d'un moteur, d'une pompe de compression et d'un réservoir.

Le moteur sera ordinairement une machine à vapeur. Cependant, on a également utilisé la force hydraulique, qui est souvent surabondante dans les pays de montagne où s'exécute le percement des grands tunnels, et où se rencontrent, fréquemment aussi, les mines métalliques. Parfois même, on a employé directement la puissance

[1] Ce n'est pas ici le lieu de présenter la théorie détaillée des compresseurs. Elle sera exposée dans le *Traité de machines* qui succédera à ce *Traité d'exploitation des mines*, pour la publication complète du Cours d'Exploitation et Machines de l'École supérieure des Mines. Je me borne, en ce moment, à ce qui concerne les indications générales d'installation, comme je viens de le faire pour les moteurs hydrauliques ou à vapeur.

de l'eau à la compression de l'air, au moyen de cloches ou de colonnes oscillantes, en évitant à la fois le moteur et la pompe proprement dite.

Le compresseur proprement dit ([1]) était mené autrefois très lentement, afin d'éviter l'échauffement de l'air, inséparable d'une compression trop active. On tend aujourd'hui à augmenter la rapidité de l'allure, en vue de diminuer le volume de l'appareil, en donnant plus de coups de piston par minute. On prévient alors l'élévation de la température par des injections d'eau pulvérisée.

L'air comprimé se trouve par là chargé d'humidité. Pour ce motif, on lui laisse le temps de s'égoutter dans des réservoirs, qui sont quelquefois simplement d'anciennes chaudières hors de service. Il est toujours facile, d'ailleurs, de chasser cette eau au dehors, en ouvrant, de temps en temps, un robinet purgeur.

711 — Il est d'autant plus nécessaire de dessécher l'air, autant que possible, que l'un des écueils les plus directs de son emploi, avec les machines à tiroir, consiste dans le refroidissement intense qui est occasionné par la détente ([2]). Cet abaissement de température a pour résultat de congeler la vapeur d'eau, et d'empâter, dans la glace, les organes de distribution, en paralysant leur mouvement. On est obligé de les enfermer dans une enceinte, traversée par un courant d'eau chaude. Si l'on trouve quelque difficulté à se la procurer au fond de la mine, on lui substitue l'extinction de la chaux.

([1]) Pernollet, *L'air comprimé et ses applications*, Paris, 1876. — Mallard, *Étude théorique sur la machine à air comprimé* (*Bull. min.*, 1re, XII, 615). — Hasslacher (*Annales* 6e, XVII, 527). — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXI, 455, Chansselle; XXXIII, 415, Trasenster ; 2e, III, 668, Mativa. — Colladon (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXII, 372). — Ribourt (*Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, 18 juin 1875). — Pochet, *Nouvelle Mécanique industrielle*, 230. — A. Évrard, *Traité d'exploitation*, I, 122. — Devillez, *Percement du tunnel sous les Alpes*. — The theory of closed air engines by Slaby (*Proceedings* of the Institution of civil Engineers, LVI). — *Verhandlungen* des Vereines zur Beforderung des Gewerbfleisser, 1877, 376. — Haton de la Goupillière (*Annales*, 7e XVI, 195, 190).

([2]) On sait que ce phénomène est employé dans les appareils frigorifiques pour déterminer mécaniquement l'abaissement de la température, et qu'il a également formé la base des procédés à l'aide desquels MM. Cailletet et Pictet ont réussi à liquéfier les gaz jusqu'alors incoercibles.

Le système Mekarski écarte d'ailleurs cette difficulté, par l'emploi de sa bouillotte caractéristique.

En dehors de cet inconvénient, le rafraîchissement dû à la détente de l'air comprimé, exerce une salutaire influence sur l'atmosphère des mines. De plus, l'oxygène ainsi répandu dans les travaux, vient en aide, dans une certaine mesure, à la ventilation. Ajoutons encore que l'on emploie quelquefois la pression de l'air, dans les percements de galerie à l'aide de la perforation mécanique, pour donner une chasse près du front de taille, afin d'en écarter les émanations grisouteuses, au moment de faire sauter les coups de mine [1].

Cette circonstance crée à l'air comprimé une très grande supériorité sur l'injection d'eau motrice, dont il est nécessaire de se débarrasser après qu'elle a rempli son office, et qui est gênante et salissante, tandis que l'air disparaît de lui-même, en n'exerçant que des influences bienfaisantes. Ajoutons qu'à égalité de transmission d'énergie, la déperdition due au frottement de l'air dans les conduites, est beaucoup moindre que pour l'eau comprimée. A une distance de 6 kilomètres, la perte est souvent inférieure à 10 pour 100.

712 — Indépendamment de la perte sur le parcours, il faut, toutefois, tenir compte de celle qui est due au fonctionnement de la machine à tiroir, actionnée par l'air comprimé. Ces deux déficits viennent s'ajouter à celui qui se produit dans la machine motrice, employée à mettre l'air en tension.

Souvent, au lieu de réduire, comme nous l'avons fait ici, le rôle de l'air comprimé à celui d'un simple agent de transmission, on l'inscrit au rang des moteurs. Quand on se place à ce point de vue, il ne faut pas oublier que ce n'est, dans tous les cas, qu'un *moteur de seconde main*. L'air atmosphérique ne recèle en lui-même aucune source d'énergie actuellement disponible, puisqu'on ne peut le mettre en présence d'une enceinte tenue à une moindre pression. On ne peut donc l'assimiler à l'eau, qui est capable de développer de la puissance en descendant à un niveau inférieur, tout comme

[1] Nous verrons cependant plus tard (chap. XLV, § 4), qu'il y a de grandes réserves à apporter, en ce qui concerne l'efficacité de ce procédé.

le charbon, en s'unissant avec l'oxygène. L'air est seulement apte à devenir un réservoir très commode, pour l'énergie développée par un moteur distinct. Il en reste le dépositaire souple et bienfaisant au point de vue de l'exploitation souterraine, mais infidèle, puisqu'à la perte déjà consommée dans le moteur proprement dit, il en superposera nécessairement une seconde, pour le déploiement de la puissance dont il est le véhicule, et une troisième pour pour son propre transport.

En résumé, ce n'est pas, logiquement, au point de vue économique que se recommande l'emploi de l'air comprimé; mais il rachète ce défaut par des avantages si importants en ce qui concerne l'intérieur des mines, que son application n'a cessé de s'y développer d'une manière constante. On l'y a employé pour la perforation mécanique (n° 207), le fonçage des puits par le procédé Triger (n° 334), les locomotives souterraines (n° 630), les tractions mécaniques [1], l'extraction [2] et l'épuisement [3].

En général, on ne dépasse pas des pressions de 3 atmosphères, ou tout au plus 4 ou 5. Cependant on a fonctionné à 8 ou 9, pour les grands percements, mais en prenant des précautions attentives pour prévenir la formation de la glace. Presque toujours, on marche en pleine pression, en renonçant, en vue de la simplicité, à l'économie que procurerait l'emploi de la détente. Du moins, on la restreint dans d'étroites limites. Le prix de revient varie beaucoup, suivant la valeur de la pression, ainsi que la nature du moteur et du mode de fonctionnement. M. Pernolet donne comme une moyenne la formule suivante [4]. Pour transmettre à 1 kilomètre une force effective de 1 cheval, il faut dépenser par heure 0 fr. 25 à 0 fr. 30, dont 0 fr. 05 à 0 fr. 10 pour l'intérêt et l'amortissement des frais de premier établissement, et, d'autre part, 0 fr. 15 à 0 fr. 20 pour les salaires, l'entretien, les fournitures et les consommations courantes.

(1) Ryhope, Powels' Duffryn, Kladno.

(2) Brunay, Bully-Grenay, Chalonnes, Ronchamp, Saars-Longchamps, Govan, Scot-lane, Bridge-pite.

(3) Au Montceau, dans le pays de Galles, le bassin de Sarrebrück.

(4) *L'air comprimé*, p. 575.

713 — L'extraction atmosphérique, qui procède au moyen du vide, et à laquelle nous consacrerons le chapitre XXXV, peut être rapprochée de cette dernière application, comme fournissant un procédé tout à fait analogue, pour l'utilisation de la puissance développée à la surface par un moteur à vapeur.

714 — *Électricité* — L'emploi de l'électricité comme agent de transmission, encore à son début [1], est appelé à prendre, dans les mines, un grand développement. On ne saurait, en effet, imaginer un intermédiaire plus simple qu'un câble électrique, à travers des voies étroites, sinueuses, compliquées de déviations à angle droit, dans le plan horizontal ou en passant de la verticale à l'horizontale.

Il faut toutefois faire une réserve, en ce qui concerne les mines grisouteuses, dans lesquelles on peut redouter l'inflammation du gaz par une étincelle. L'humidité est également nuisible. On ne devra pas hésiter à préférer, sans exagération, bien entendu, un trajet plus long, mais sec, à une traversée particulièrement humide. La pluie permanente qui tombe dans certains puits, peut arriver à imbiber les conducteurs. Cependant, en les laissant pendre librement suivant la verticale, on les y a maintenus dans un état d'isolement suffisant. Il est bon, pour faciliter les réparations, d'enrouler, en certains points du circuit, des provisions de câble, afin de les avoir immédiatement sous la main pour remédier aux avaries.

715 — Déjà trois installations électriques souterraines ont

[1] C'est le 3 juin 1873 que M. Fontaine a fait la première expérience de ce genre à l'Exposition de Vienne. Le 26 mai 1876, MM. Félix et Chrétien exécutèrent le labourage électrique de Sermaize. En 1881, M. M. Deprez transmettait, de Miesbach à Munich, une force d'un demi-cheval, à 57 kilomètres de distance. En février 1883, il a repris ces expériences, aux ateliers du chemin de fer du Nord, devant une commission de l'Académie des sciences, en transmettant une puissance de quatre chevaux et demi environ, à une distance de 8500 mètres (Tresca, Conférence sur la transmission du travail mécanique par les courants électriques, *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, X, 319. — Un grand nombre d'autres travaux importants, relatifs au problème de la transmission de l'énergie par la voie de l'électricité, envisagé d'une manière générale, ont été publiés par MM. J. Bertrand, Cornu, du Moncel, M. Lévy, M. Deprez, A. Achard, Baure, Boulanger, Évrard, Lacoine, Vanderpol, etc. Mais je me bornerai à mentionner ci-dessous ceux qui traitent la question, spécialement au point de vue de l'exploitation souterraine).

fixé l'attention des ingénieurs [1]. Au puits Thibaud, de la Compagnie des houillères de Saint-Étienne [2], un lambeau de la septième couche, compris entre un rejet et la limite de concession, ne présentait pas une importance suffisante pour mériter le réavalement du puits, et le percement d'un travers-bancs. On dut préférer, à ce moyen normal, l'organisation d'une extraction intérieure dans un faux puits.

La Compagnie de Blanzy a établi dans la mine de Saint-Chamond [3] une traction mécanique, exigeant la transmission de 4 chevaux de force à 634 mètres.

La Compagnie des mines de la Péronnière (Rive-de-Gier) a, de même, installé à la fosse Saint-Antoine [4] une traction en remonte, pour éviter un réavalement de 70 mètres et un travers-bancs de 400 mètres, à ouvrir dans des roches très dures. Le plan incliné présente 110 mètres de longueur, avec une pente de 0,40. La distance de transmission est de 1200 mètres, dont 400 verticaux au puits du Chêne. Dans la même mine, une autre génératrice-Gramme actionne une seconde réceptrice, à 1500 mètres de distance, pour effectuer une extraction verticale, à l'aide d'un bure de 26 mètres de hauteur.

716 — J'esquisserai ici, comme exemple, l'installation du puits Thibaud.

A l'extérieur, se trouve une machine à vapeur, dont le piston a $0^m,18$ de diamètre et $0^m,32$ de course. Une courroie commande, avec un rapport de vitesse égal à 20,5, la génératrice, qui fait

(1) D'autres projets sont étudiés à La Chapelle-Sous-Dun, au Montcel-Sorbiers, etc.

(2) Rossigneux, Transport de force par l'électricité, installation du puits Thibaud (*Bull. min.*, 2e, X. 882). — Rossigneux, Installation d'une transmission électrique au puits Thibaud (*CRM*, 1882, 3).

(3) Graillot, Transport de force par l'électricité, expériences faites aux mines de Blanzy (*Bull. min.*, 2e, XI, 89). — Graillot, Résumé des expériences faites sur un treuil mû par l'électricité (*CRM*, 1882, 34).

(4) Charousset et Bague, Application de l'électricité comme transmission de force aux mines de la Péronnière (*Bull. min.*, 2e, XI, 5). — Charousset, Rendement des machines électriques installées aux mines de la Péronnière (*Bull. min.*, 2e, XII, 19). — Charousset, Installation aux mines de la Péronnière d'une transmission électrique pour une exploitation en descente (*CRM*, 1881, 250). — Charousset, Transmission électrique des mines de la Péronnière (*CRM*, 1883, 5).

1800 tours. Deux câbles transmettent le courant à 250 mètres. Ils sont formés de 16 fils de cuivre rouge, de $0^m,0011$ de diamètre, recouverts de coton et de toile imbibée de caoutchouc. Ces conducteurs pendent librement dans le puits Thibaud, qui a 130 mètres de profondeur. La réceptrice-Gramme fait 1300 tours. Elle actionne un treuil de $0^m,50$ de diamètre, qui tourne 250 fois moins vite. Un embrayage spécial permet d'effectuer l'arrêt et le changement de marche.

On monte, à chaque voyage, en 3 minutes, 500 kilogrammes de charbon à $24^m,50$ de hauteur, ce qui correspond à une force de 0,9 cheval. Le rendement brut, c'est-à-dire le rapport du travail d'élévation de poids, à celui qui est développé sur le piston, a été trouvé égal à 0,25. Il se décompose ainsi : 0,85 pour le rendement de la machine à vapeur ; 0,65 pour celui du treuil ; 0,45 pour celui de l'appareil électrique [1]. Le produit de ces trois nombres donne en effet 0,2486.

Le prix de revient de cette installation s'est établi de la manière suivante [2] :

(1) Ce rendement de 0,45 pour la transmission électrique proprement dite, est conforme à celui de l'expérience la plus favorable de M. M. Deprez (Expérience VIII, Tresca, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 324), qui a donné le chiffre 0,456, lequel se réduit d'ailleurs à 0,362, si l'on tient compte des résistances passives développées entre le dynamomètre-enregistreur et la génératrice-Gramme. M. Tresca décompose ce dernier coefficient de la manière suivante, en indiquant, pour chaque partie, la manière dont elle a été déterminée, par mesure immédiate ou par déduction indirecte :

	Pour 100.
Perte par la transmission entre le dynamomètre et la génératrice.	20,70
Travail perdu à la génératrice	10,70
Chaleur perdue à la génératrice	3,90
Perte par les conducteurs	9,50
Travail perdu à la réceptrice	13,00
Chaleur perdue à la réceptrice	6,00
Perte totale	63,80
Travail disponible à la sortie de la réceptrice	36,20
TRAVAIL FOURNI SUR LE DYNAMOMÈTRE	100,00

(2) A la Péronnière, l'installation a coûté 25 323 francs, non compris les conducteurs, qui sont revenus, par mètre courant, à $1^f,25$ dans les parties sèches, et $3^f,00$ dans les traversées humides.

Machine à vapeur	1100	francs
Bâti, montage, abri	700	—
Tuyaux, courroies, transmissions. .	400	—
2 machines Gramme à 1500 francs .	3000	—
Fil, 500 mètres à 1 fr. 25	525	—
Treuil intérieur	1600	—
Bâti du treuil, pose	258	—
TOTAL.	7575	francs

8956. — Imp. A. Lahure, 9, rue de Fleurus, à Paris



89089704522
b89089704522a